

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

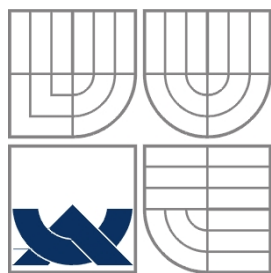
MĚŘENÍ OTEPLENÍ POJISTKY TERMOVIZNÍ KAMEROU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

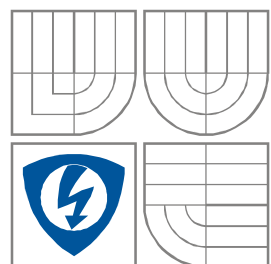
Michal Belák

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MĚŘENÍ OTEPLENÍ POJISTKY TERMOVIZNÍ KAMEROU

A fuse heating measurement using IR camera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

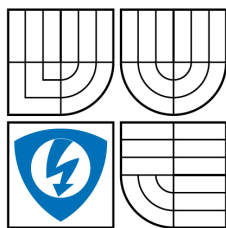
Michal Belák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Michal Belák

Ročník: 3

ID: 98572

Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Měření oteplení pojistky termovizní kamerou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte srovnání různých principů bezdotykového měření teploty.
2. Zpracujte přehled využití termovize v průmyslové praxi
3. Termovizní kamerou proměřte časový průběh oteplení pojistky

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 1.10.2008

Termín odevzdání: 29.5.2009

Vedoucí projektu: prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá spracovaním a porovnaním rôznych princípov bezdotykového merania teploty. Popisuje druhy detektorov používaných v pyrometroch a termovízijských systémoch. Zameriava sa na popis konkrétnych druhov bezkontaktných teplomerov ich rozdelenie na základe rôznych kritérií a ich vzájomné porovnanie. V ďalšom sa zameriava na popis využitia termovízie v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. Súčasťou práce je spracovanie praktického merania oteplenia poistky, ktoré je príkladom využitia termovízie v praxi.

Abstract

Bachelor's thesis deals with various principles of contactless temperature measuring and comparison of these principles. Different kinds of detectors, which are used in pyrometers and thermovision systems are presented, together with description of various kinds of the contactless thermometers, their division according to many different criteria. Next it is intended on the description of thermovision exploitation in different areas of practice. An example of practical fuse heating measuring and its analysis is also presented.

Kľúčové slová

Termovízia; termosníмка; emisivita; meranie; detektor; pyrometer; poistka

Keywords

Thermovision; thermal image; emissivity; measuring; detector; pyrometer; fuse

Bibliografická citácia

BELÁK, M. *Měření oteplení pojistky termovizní kamerou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 44s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Vladimír Aubrecht, CSc.

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Měření oteplení pojistky termovizní kamerou som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brne dňa

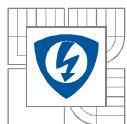
Podpis autora

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce prof. RNDr. Vladimírovi Aubrechtovi, CSc. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

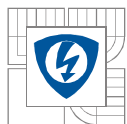
V Brne dňa

Podpis autora



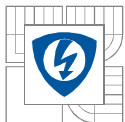
OBSAH

1 ÚVOD	11
2 POROVNANIE RÔZNYCH PRINCÍPOV BEZDOTYKOVÉHO MERANIA TEPLoty	12
2.1 DETEKTORY	12
2.1.1 TEPELNÉ DETEKTORY	12
2.1.2 KVANTOVÉ DETEKTORY	15
2.2 PRÍSTROJE PRE BEZDOTYKOVÉ MERANIE TEPLoty	17
2.2.1 ROZDELENIE BEZKONTAKTNÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV	17
2.3 PYROMETRE	19
2.3.1 SUBJEKTÍVNE PYROMETRE	19
2.3.2 OBJEKTÍVNE PYROMETRE	22
2.4 ZOBRAZOVACIE METÓDY	25
2.4.1 TERMovÍZNE METÓDY MERANIA TEPLoty S ROZKLADOM OBRAZU	25
2.4.2 FOTOGRAFICKÉ METÓDY MERANIA TEPLoty (FOTOMETRIA)	27
2.5 POROVNANIE BEZKONTAKTNÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV	27
3 VYUŽITIE TERMovÍZIE V PRAXI	29
3.1 HISTÓRIA VÝVOJA TERMOKAMIER.....	29
3.2 APLIKÁCIA TERMovÍZNYCH SYSTÉMOV	29
3.2.1 ENERGETIKA	29
3.2.2 PRIEMYSEL.....	30
3.2.3 TELEKOMUNIKÁCIE	31
3.2.4 MEDICÍNA	32
3.2.5 VÝSKUM A VÝVOJ.....	33
3.2.6 EKOLÓGIA	33
3.2.7 ŠPECIÁLNE APLIKÁCIE	34
4 MERANIE OTEPLENIA POISTKY	35
4.1 ZADANIE	35
4.2 POSTUP MERANIA.....	35
4.3 SPRACOVANIE MERANIA.....	36
4.4 POUŽITÉ PRÍSTROJE.....	39
4.5 VYHODNOTENIE MERANIA	40
4.5.1 PUZDRO.....	40
4.5.2 NÔŽ.....	40
4.5.3 PRUŽINA.....	41
4.6 ZÁVEREČNÉ ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV MERANIA	41
5 ZÁVER.....	42
LITERATÚRA	43
PRÍLOHY	44



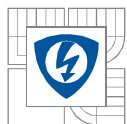
ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1:	a) termočlánok b) infračervený termočlánok.....	13
Obr. 2:	Konštrukčné prevedenie jednoduchého bolometra.....	13
Obr. 3:	Maticové usporiadanie mikrobolometrov v matici 3x3.....	14
Obr. 4:	Závislosť spontánnej polarizácie na teplote.....	14
Obr. 5:	Pyroelektrický čip s predzosilňovačom.....	15
Obr. 6:	Jasový pyrometer s miznúcim vláknom.....	19
Obr. 7:	Jasový pyrometer s šedým klinom.....	19
Obr. 8:	Korekčný graf.....	20
Obr. 9:	Porovnávací pyrometer na špeciálne rozloženie.....	21
Obr. 10:	Pomerový pyrometer na špeciálne rozloženie.....	21
Obr. 11:	Automatický pomerový pyrometer.....	22
Obr. 12:	Bloková schéma bezkontaktného teplomera.....	23
Obr. 13:	Spôsoby zamerania snímanej plochy u prenosných pyrometrov.....	23
Obr. 14:	Pyrometer celkového žiarenia s dutým zrkadlom.....	24
Obr. 15:	Pyrometer celkového žiarenia s šošovkou.....	25
Obr. 16:	Princíp skenovacieho systému.....	26
Obr.17:	Pohľad na FPA detektor pod mikroskopom.....	26
Obr.18:	Fotografická metóda zobrazenia tepelného poľa.....	27
Obr. 19:	Preťaženie jednej z fáz.....	30
Obr. 20:	Meranie úniku tepla z panelového domu.....	31
Obr. 21:	Stykový transformátor.....	31
Obr. 22:	Svorka kontaktu prepínača antény.....	32
Obr. 23:	Predný spoj transformačného člena.....	32
Obr. 24:	Využitie termovízie pri liečbe po liposukcii.....	33
Obr. 25:	Zistenie predmetu za prekážkou.....	34
Obr. 26:	Termosníмка zhotovená po odstavení automobilu.....	34
Obr. 27:	Meranie oteplenia poistky termovíznou kamerou.....	36
Obr. 28:	Závislosť oteplenia poistky na čase.....	37
Obr. 29:	Termosníмка poistky zhotovená v čase $t=40\text{min}$	38



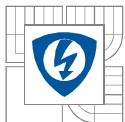
ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1:	Teplota jednotlivých částí poistky nameraná termočlánkom.....	37
Tab. 2:	Výsledková tabuľka z protokolu o meraní.....	39
Tab. 3:	Tabuľka zistených emisív.....	39



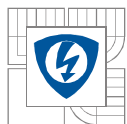
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Veličina	Značka jednotky
C_2	druhá vyžarovacia konštanta	m.K
I_1	Vypínacia schopnosť (efektívna hodnota)	kA
I_N	menovitý prúd	A
l	dĺžka	m
P_s	spontánna polarizácia	$\mu\text{C}/\text{cm}^2$
T	teplota	$^{\circ}\text{C}$
T	termodynamická teplota	K
$T_{0\lambda}$	jasová teplota	K, $^{\circ}\text{C}$
T_c	Teplotný údaj pyrometra celkového žiarenia	K, $^{\circ}\text{C}$
T_m	Skutočná (reálna) teplota	K, $^{\circ}\text{C}$
T_p	Teplotný údaj pásmového pyrometra	K, $^{\circ}\text{C}$
T_s	Skutočná (reálna) teplota	K, $^{\circ}\text{C}$
W_f	energia fotónov	eV
W_g	šírka zakázaného pásu	eV
t	čas	s
t	teplota	$^{\circ}\text{C}$
t_k	koncový čas	s
Δt	zmena teploty	$^{\circ}\text{C}$
ε	emisivita	-
ε_p	pásmová emisivita	-
λ	vlnová dĺžka	μm
Skratka	Význam	
dist	vzdialenosť	
ems	emisivita	
envtmp	teplota prostredia ($^{\circ}\text{C}$)	
FPA	Focal Plane Array – plošné maticové usporiadanie detektorov	
M	motor	
PEV	Pyro-Electric Vidicon – špeciálny druh pyroelektrického detektoru	
QWIP	Quantum Infrared Photo Detector – špeciálny druh kvantového detektora	
RelHum	relatívna vlhkosť	
SPRITE	Signal Procesing In The Element – druha detektora využívaný v termokamerách	



1 ÚVOD

S rozvojom rôznych technologických a výrobných procesov vznikali aj požiadavky na rozličné spôsoby merania teploty týchto procesov. Keďže nie vždy je možné využiť priame kontaktné meranie napríklad pomocou termočlánku objavila sa požiadavka na vznik zariadení schopných zmerať teplotu zariadení alebo procesov diaľkovo, hovoríme o bezkontaktnom meraní teploty. Odbor zaoberajúci sa bezdotykovým meraním teploty sa nazýva pyrometria a jeho základy boli položené už v roku 1731 kedy holandský fyzik Pieter van Musschenbroek vynášiel prvý pyrometer. S postupným vývojom nových technológií nastal aj vývoj zariadení určených na bezkontaktné meranie teploty od prvých porovnávacích kde bolo detektorom žiarenia ľudské oko cez bodové teplomery až k termovízii schopnej zobrazovať plošné teplotné snímky. Vývoj umožnil ďalej zlacnenie výroby týchto zariadení a ich rozšíreniu do rozličných priemyselných odvetví. Cieľom tejto práce je oboznámenie s jednotlivými druhmi bezdotykových meracích prístrojov a spôsobov merania, spracovanie prehľadu využitia termovízie a napokon aj prevedenie praktického merania na základe ktorého sa budeme snažiť poukázať na značné výhody ale aj určité nevýhody merania pomocou termovíznej techniky.



2 POROVNANIE RÔZNYCH PRINCÍPOV BEZDOTYKOVÉHO MERANIA TEPLOTY

Teplota sa dá bezdotykovo merať rozličnými spôsobmi odlišujúcimi sa použitým detektorom, optikou, zobrazením výsledku merania, teplotným rozsahom a i. Vlastnosti zariadenia pre bezdotykové meranie sú dané hlavne použitým detektorom, ten určuje presnosť, merací rozsah zariadenia, cenu a i.

2.1 Detektory

Detektory možno rozdeliť do dvoch skupín:

Subjektívne detektory

Detektorom žiarenia je ľudské oko.

Objektívne detektory

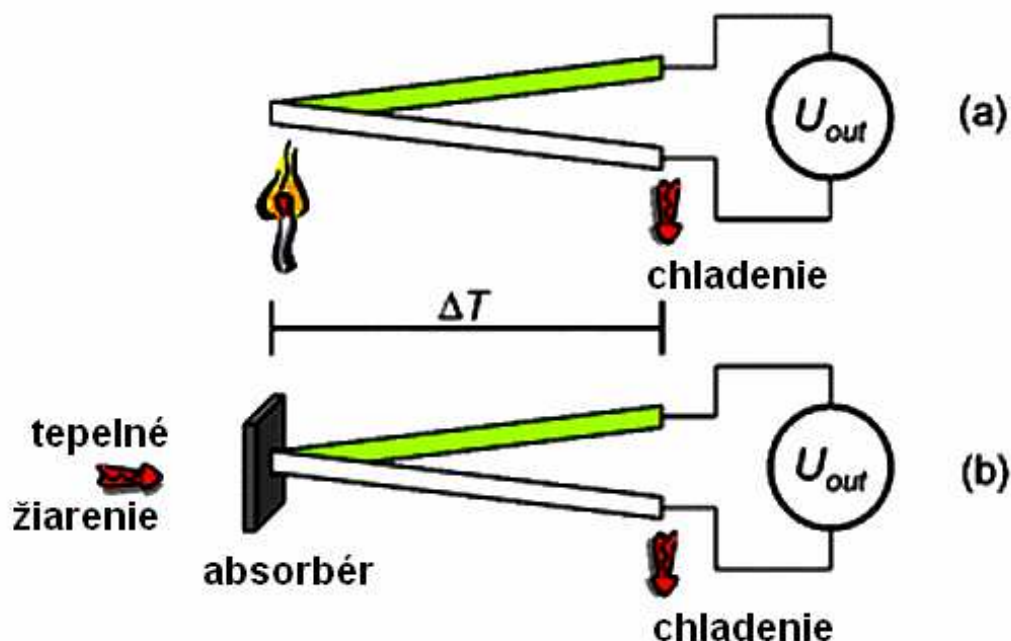
Tepelné	-termoelektrické (termobatérie, infra termočlánky)
	-bolometrické (termistory)
	-pyroelektrické
Kvantové (fotoelektrické)	-fotorezistory
	-fotodiódy

2.1.1 Tepelné detektory

Tepelné detektory merajú teplotu, využívajú zmenu niektorej vlastnosti materiálu na základe absorpcie energie infračerveného žiarenia

Termoelektrické detektory

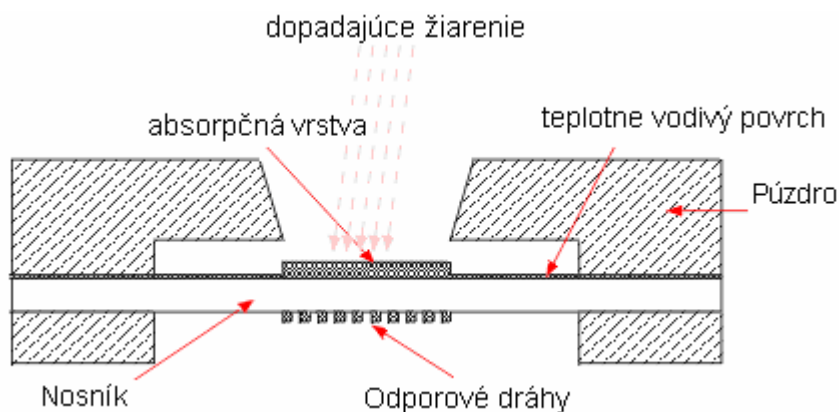
Termoelektrické detektory inak nazývané aj infračervené termočlánky využívajú zmenu termoelektrického napätia dvojice vodičov vplyvom rozdielu teplôt medzi meracím (ožiareným) spojom s porovnávacím spojom podobne ako je to u klasického termočlánku. Základ termoelektrického detektoru tvorí skupina termočlánkov ktorých aktívne konce sú umiestnené do jedného miesta a sú pokryté pre čierno sfarbeným materiálom pohlcujúcim infračervené žiarenie. Porovnanie termočlánku a infračerveného termočlánku je na obrázku 1. Na výrobu infračervených termočlánkov sa používajú klasické normované typy termoelektrických vetiev ale tiež materiály ako napríklad Bi, Sb dotované Se a Te, Si(P) – AL, Si(N) – Au, Si(P) – Au.



Obr. 1 a) termočlánok b) infračervený termočlánok

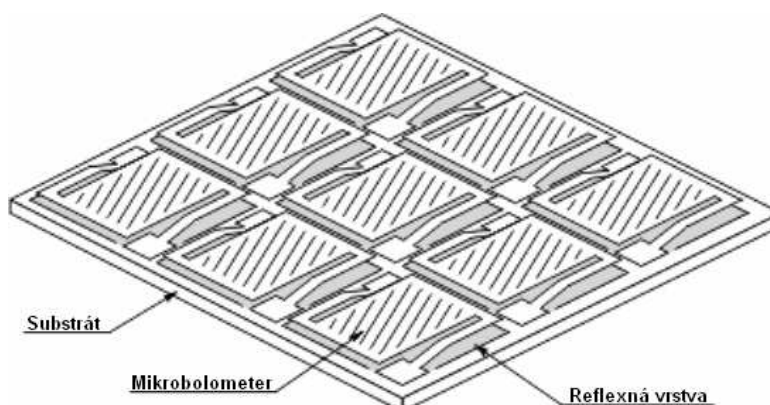
Bolometrické detektory

Bolometrické detektory fungujú na princípe teplotne závislého odporového materiálu. To v praxi znamená, že detektorom pohltené žiarenie spôsobí zmenu teploty odporového čidla a tým aj zmenu jeho elektrického odporu. Obrázok 2 predstavuje skutočnú konštrukciu jednoduchého bolometra. Na výrobu bolometrov sa používa tenkovrstvá mikroelektronická technológia na báze odporových materiálov z kysličníkov MgO, MnO, NiO, TiO₂, a i. Aby bola zmena teploty meranej bolometrom úmerná len absorbovanému žiareniu, musí byť bolometer tepelne izolovaný od svojho okolia.



Obr. 2 Konštrukčné prevedenie jednoduchého bolometra

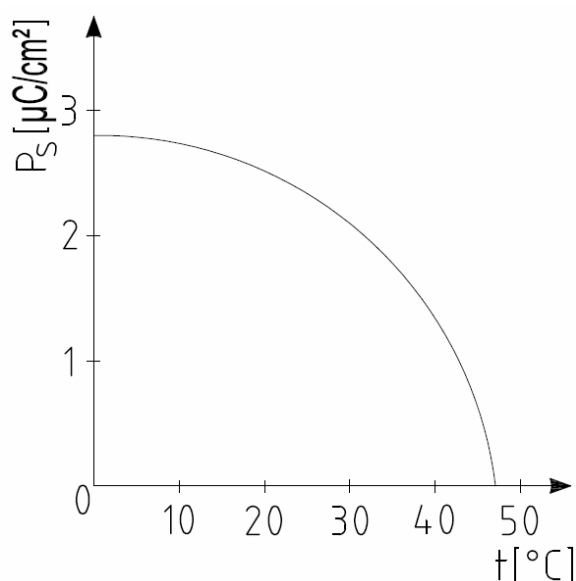
Mikrobolometre sú usporiadanými skupinami veľkého množstva bolometrov na ploškach s rozmermi niekoľko milimetrov. Senzory bývajú usporiadané riadkovo alebo plošne. Plošne usporiadané mikrobolometre sa využívajú v termokamerách. Toto maticové usporiadanie sa nazýva FPA (Focal Plane Array). Matice bežne obsahujú 320x240 elementov v novších kvalitnejších ale hlavne drahších zariadeniach už bývajú zabudované aj matice s 640x480 prvkami ktoré umožňujú ešte kvalitnejšie meranie.



Obr. 3 Maticové usporiadanie mikrobolometrov v matici 3x3

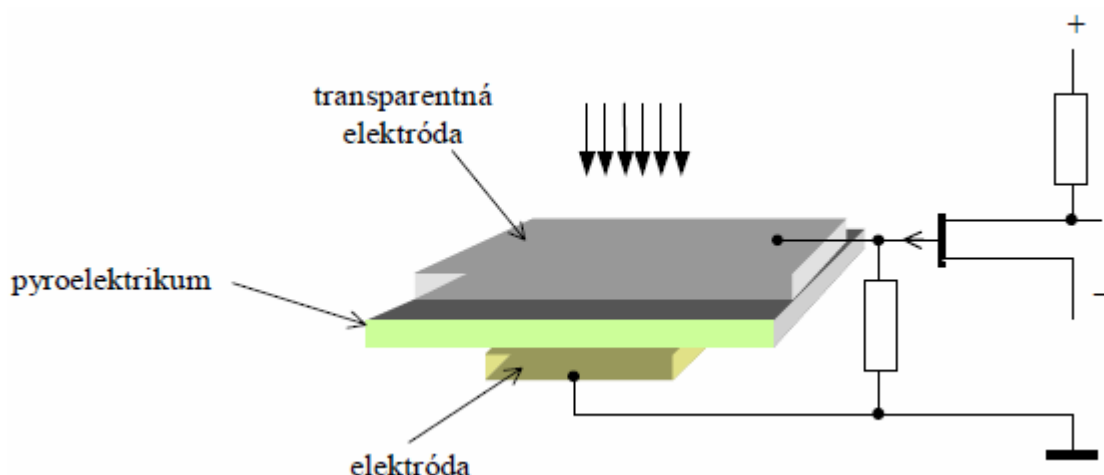
Pyroelektrické detektory

Pyroelektrické detektory využívajú teplotnú zmenu elektrostatickej polarizácie tento jav je uvedený na obrázku 4. Hovoríme o tzv. pyroelektrickom jave, ktorý sa vyskytuje u pyroelektrík s trvalou polarizáciou alebo u niektorých feroelektrík, u ktorých sa orientácia domén vytvorí silným elektrickým poľom. Pyroelektrický detektor je možné si predstaviť ako kondenzátor, na ktorého elektródach sa pri zmene polarizácie naindukuje elektrický náboj. Náboj sa odvádza cez zvodový odpor pyroelektrika a vstupný odpor predzosilňovača obrázok 5.



Obr. 4 Závislosť spontánnej polarizácie na teplote

Najčastejšie používanými materiálmi pre pyroelektrické detektory sú LiTaO_3 , BaTiO_2 , PbTiO_3 , TGS (triglycín-sulfát), PZT (keramické materiály na báze titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého), PVDF (polyvinylfluorid)

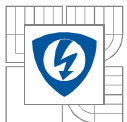


Obr. 5 Pyroelektrický čip s predzosilňovačom

Pyroelektrický vidikón PEV (Pyro-Electric Vidicon) je špeciálny druh pyroelektrického detektoru, ktorý sa používal na snímanie obrazu v prvopočiatoch termovízie. Princíp PEV je založený pyroelektrickom materiáli umiestnenom vo forme matrice na prednej vnútornej strane vidikónovej trubice, ktorý mení svoju kapacitu na základe dopadu infračerveného žiarenia. Matrica je potom skenovaná elektrónovým lúčom a výsledné impulzy sú zosilnené a spracované.

2.1.2 Kvantové detektory

Kvantové detektory merajú elektromagnetické žiarenie v príslušnej oblasti spektra. Podstatou týchto detektorov je fyzikálny jav, Pri ktorom pri interakcii dopadajúcich fotónov dochádza v polovodiči ku generácii páru elektrón – diera. V prípade splnenia podmienok $T > 0\text{K}$ a $W_f \geq W_g$, kde W_f je energia fotónov a W_g je šírka zakázaného pásu, dochádza k uvoľneniu elektrónu a jeho prechodu na vyššiu energetickú hladinu. Elektrón sa dostane z valenčného pásu do vodivostného a v elektrónovom obale ionizovaného atómu po ňom zostane diera. Elektrón aj diera sa môžu v polovodiči voľne pohybovať. Diera preberá do elektrónového obalu elektrón z vedľajšieho neutrálneho atómu. Tento sa ionizuje a stáva sa nositeľom kladného náboja. Tepelný pohyb elektrónov a dier v polovodiči je náhodný. Na výrobu kvantových detektorov sa používajú materiály ako Si, Ge, PbS, Te, InSb, PbSe, GaAs, CdHgTe, PbSnTe). Podľa typu použitého polovodiča sa delia na intrinzické (čistý alebo vlastný polovodič) a extrinzické (nevlastný polovodič).



Fotorezistor

Fotorezistor je intrinzičný detektor využíva zmenu pohyblivosti nosičov náboja pri dopade fotónov na polovodičovú vrstvu. Vodivosť fotorezistora je funkciou fotónového toku, hovoríme, že pracuje v tzv. fotovodivostnom režime. Tento stav vyžaduje elektrické pole ktoré sa dosahuje privedením napätia z vonkajšieho zdroja. Elektrické pole spôsobí unášanie náboja a vonkajším obvodom preteká elektrický prúd.

Fotodióda

Fotodióda je extrinzičný detektor u ktorého je hustota nosičov náboja v PN prechode daná koncentráciou prímiesí. V prípade nadbytku valenčného elektrónu sa nazýva dotovaný polovodič typu N a naopak v prípade ak atóm prímiesi bude elektrón polovodiča viazať a majoritnými nosičmi náboja sú diery hovoríme o polovodiči typu P. Na Oboch stranách PN prechodu sa nosiče náboja snažia dosiahnuť termodynamickú rovnováhu a vyrovnanie koncentrácie elektrónov a dier na oboch stranách rozhrania. Výsledkom tejto difúzie na prechode je elektrická dvojvrstva nábojov označovaná ako oblasť priestorového náboja (OPN), v ktorej sa nachádzajú v rovnovážnom stave voľné nosiče náboja. V prípade ožiarenia prechodu a následnej absorpcii žiarenia PN prechodom, dôjde v oblasti OPN k rozdeleniu páru elektrón – diera. Diery následne driftujú do oblasti P a elektróny do oblasti N.

Fotodióda môže pracovať v dvoch režimoch -fotovodivostný

-fotovoltaický

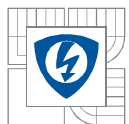
Fotovodivostný režim – dióda sa chová ako pasívny prvok ktorého odpor klesá v závislosti od intenzity ožiarenia. Pre najvyššie nároky na odstup signálu od šumu sa detektory rôznymi spôsobmi chladia. Fotovodivostné detektory majú v porovnaní s fotovoltaiickými obvykle väčšiu citlivosť a väčší odstup signálu od šumu. Pre dosiahnutie týchto vlastností je ale nutné dodržať hodnoty optimálnej vlnovej dĺžky žiarenia. Z tohto dôvodu je nutné tento druh detektorov chladíť na veľmi nízke teploty. Pre detekčné pásmo $3 \div 5 \mu\text{m}$ sa polovodič chladí na teplotu -80°C a pre pásmo $8 \div 14 \mu\text{m}$ na -193°C čo sa v praxi dosahuje tekutým dusíkom. Nevýhodou je aj pomalšia odozva na rýchle zmeny toku žiarenia.

Fotovoltaiický režim – dióda sa správa ako zdroj energie. Pri ožiarení PN priechodu sa na kontaktoch diódy objaví napätie. V tomto režime nevyžaduje polovodičový prvok chladenie na také nízke teploty ako vo fotovodivostnom režime a z tohto dôvodu sú častejšie používané na výrobu detektorov infračerveného žiarenia fotovoltaiické detektory. Na výrobu týchto detektorov sa používajú napr. InSb, HgCdTe, HgCdZnTe, PbSnTe, InAs, InGaAs a i.

Tak ako v oblasti bolometrov tak aj v prípade kvantových detektorov sa vyrábajú riadkové a plošné (FPA) detektory.

Pre pásmo $3,6 \div 5 \text{ }\mu\text{m}$ detektory využívajúce tzv. Schottkyho bariéru medzi Si a PtSi. Vo vrstve PtSi vznikajú elektróny, ktoré prekonávajú Schottkyho bariéru a vo vrstve Si vyvolávajú vznik nosičov náboja.

Pre dlhovlnné pásmo sa vyrábajú detektory QWIP (Quantum Infrared Photo Detector)



QWIP detektory sú unipolárne prvky založené na vnútro pásomových prechodoch v kvantových jamách. Pri interakcii žiarenia (absorpcii) vo vodivostnom (valenčnom) pásme môže dôjsť k prechodu medzi základnými energetickými stavmi vo vnútri dotovanej kvantovej jamy (napr. $e_1 - e_2$) a následne termoemisiou alebo tunelovaním pod vplyvom elektrického poľa prispievajú ku vzniku fotoprúdu v štruktúre n- MQW-n pod napätím. Pre danú pracovnú vlnovú dĺžku λ_p , ktorá zodpovedá optickému prechodu medzi excitovaným a základným stavom môžeme túto nastaviť výberom materiálov a šírkou kvantovej jamy. Dotovaná kvantová jama vytvára potrebnú hustotu elektrónov na energetickej úrovni základného stavu (e_1). Šírka bariéry ovplyvňuje predovšetkým tunelovanie a prúd za tmy fotodetektora. Počet kvantových jám v aktívnej oblasti závisí od dosiahnutia maximálnej účinnosti, geometrie a naviazania optického žiarenia. Pohybuje sa v rozmedzí 10 – 100. V štruktúre so supermriežkou je možné využiť prechod medzi stavom v supermriežke a kontinuum stavov vo vodivostnom pásme pre generáciu fotoprúdu v štruktúre po dopade IR žiarenia. Pracujú pri znížených teplotách 77 K, pričom k najvyššej účinnosti prechodov dochádza pri interakcii žiarenia pod uhlom 45° . Preto pre naviazanie sa využíva hranové naviazanie pod 45° uhlom alebo naviazanie cez mriežku vytvorenú na povrchu detektora na ktorej dochádza k rozptylu žiarenia v štruktúre

2.2 Prístroje pre bezdotykové meranie teploty

Ako už bolo spomenuté, vlastnosti bezkontaktného meracieho prístroja sú dané hlavne detektorom, ktorý tento prístroj využíva. Na základe tohto a mnohých iných kritérií je možné bezkontaktné teploměry rozdeliť do niekoľkých skupín.

2.2.1 Rozdelenie bezkontaktných meracích prístrojov

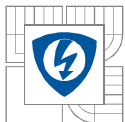
Rozdelenie podľa spôsobu snímania (merania) teploty:

a) Meracie – pyrometre

- Subjektívne pyrometre -Jasové
 - Na špeciálne rozloženie (farbové) -Porovnávacie
 - Pomerové
- Objektívne pyrometre -Pomerové (podielové, dvojfarbové)
 - Energetické -Monochromatické
 - Pásmové
 - Pyrometre celkového žiarenia (úhrnné, radiačné)

b) Zobrazovanie

- Termovízne metódy s rozkladom obrazu -Mechanickým
- Elektronickým
- Fotografické metódy



Rozdelenie podľa meracieho rozsahu:

-Pyrometre	-Jasové	650÷3500°C
	-Pásmové	300÷2000°C
	-Farbové	700÷2000°C
	-Radiačné	50÷2300°C (5000 °C)
-Fotometria		-50÷650°C
-Termovízia		-50÷1000°C (1500 °C)

Rozdelenie podľa rozsahu spektra:

- Monochromatické
- Pásmové
- Úhrnné

Rozdelenie podľa konštrukčných častí:

-Optický systém	-clonkový
	-šošovkový
	-zrkadlový
	-svetlovodný
-Zameriavací systém	-optický cez objektív
	-svetelný (napr. laserový lúč)
	-mieridlový (puškový)

Rozdelenie podľa meranej oblasti spektra:

- Ultrafialové
- Optické
- Rádiové
- Infračervené

2.3 Pyrometre

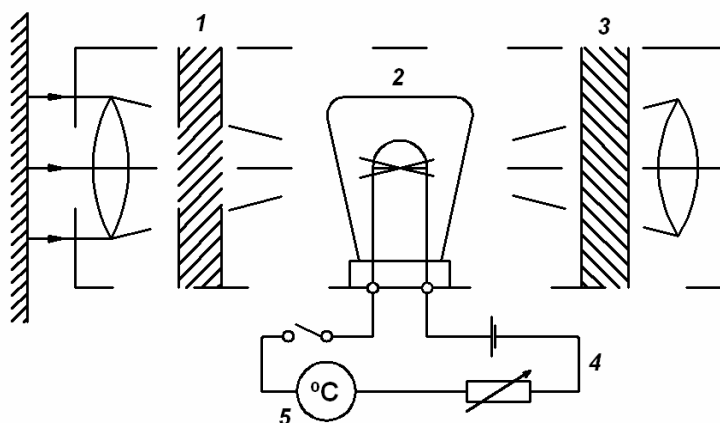
2.3.1 Subjektívne pyrometre

Jasové (monochromatické) pyrometre

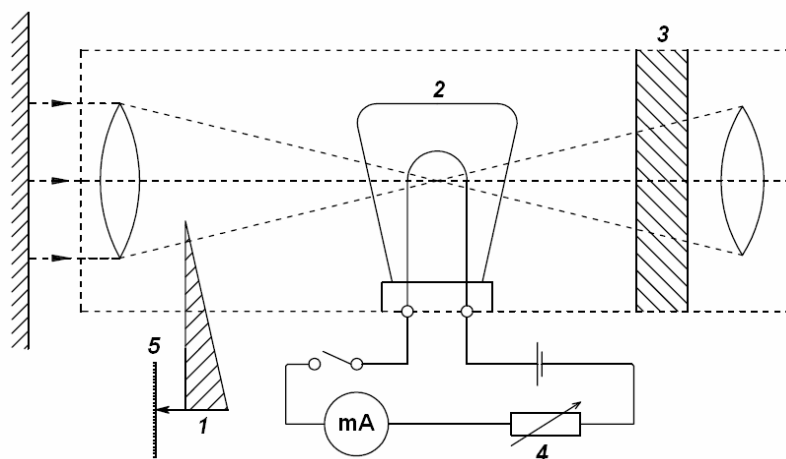
Pracujú na princípe porovnávania žiarenia na jednej vlnovej dĺžke (najčastejšie $0,65\mu\text{m}$) v oblasti viditeľného žiarenia. Príkladom takéhoto pyrometra sú pyrometrické žiarovky. Meranie môže prebiehať dvoma spôsobmi:

- zmenou jasu porovnávacieho zdroja (obr. 6).
- obmedzovaním jasu pomocou šedého klinového filtra pri rovnakom jase porovnávacieho zdroja (obr. 7).

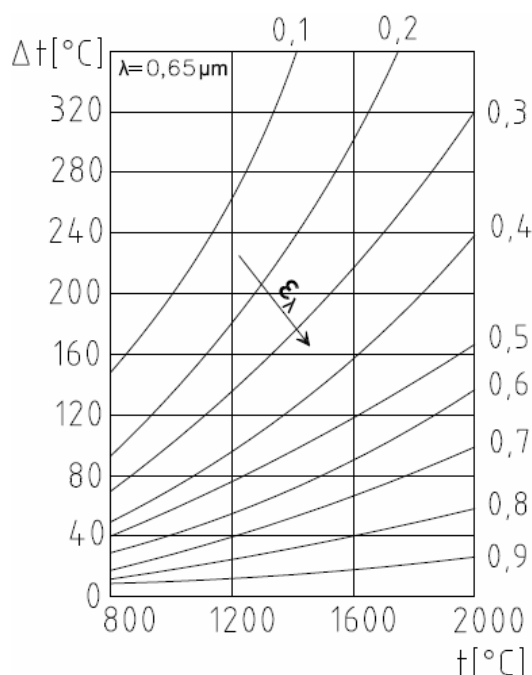
Meranie porovnávaním sa prevádza vo vymedzenom spektre. Vzhľadom na to, že meraný objekt je len zriedkavo čiernym žiarivcom, nemerame pyrometrom skutočnú teplotu ale teplotu zodpovedajúcu čiernemu žiarivcu. Hovoríme o tzv. jasovej teplote $T_{0\lambda}$, ktorá je v skutočnosti všeobecne nižšia ako skutočná teplota T_s . Z tohto dôvodu je nutné údaj pyrometra korigovať, čo sa v praxi robí pomocou korekčných grafov (obr. 8).



Obr. 6 Jasový pyrometer s miznúcim vláknom (1 - šedý filter, 2 – pyrometrická žiarovka, 3 – červený filter, 4 – regulačný rezistor, 5- ukazovateľ teploty)



Obr. 7 Jasový pyrometer s šedým klinom (1 - šedý klin, 2 – pyrometrická žiarovka, 3 – červený filter, 4 – regulačný rezistor, 5- ukazovateľ teploty)



Obr. 8 Korekčný graf

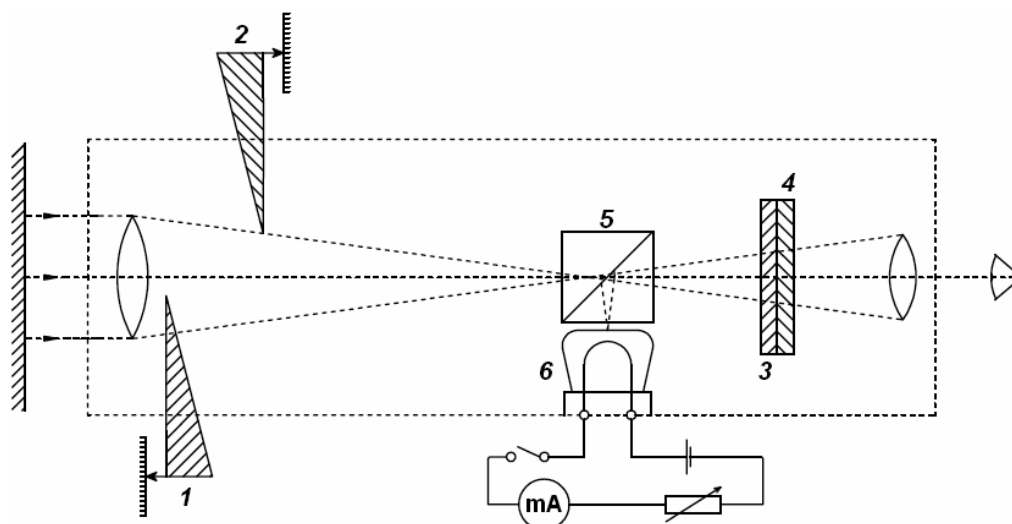
Pyrometre na špeciálne rozloženie (farebné)

Jedná sa o spektrálne selektívne viacpásmové subjektívne pyrometre založené na teplotnej závislosti spektrálneho rozloženia žiarivosti telesa. Podobne ako jasové pyrometre využívajú žiarenie vo viditeľnej oblasti. Sú vhodné na meranie teploty šedých žiarivcov u ktorých nepoznáme emisivitu alebo u ktorých sa emisivita mení. Teplota zmeraná takýmto pyrometrom sa nazýva teplota farby a je vždy vyššia ako čierna teplota, približuje sa k nej ale viac ako napríklad jasová teplota. Chyba takéhoto pyrometra býva menšia ako 3%. Farebná teplota sa určuje pomocou:

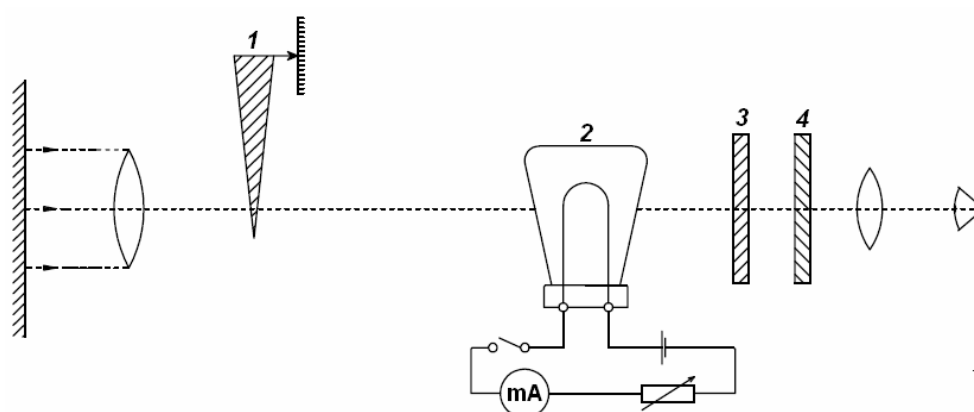
- farebného vnemu, ktorý vznikne zmiešaním dvoch jednofarebných žiarení
-porovnávacie pyrometre (obr. 9).
- pomeru jasov v dvoch rôznych spektrálnych oblastiach
-pomerové pyrometre (obr. 10).

Porovnávacie – Naeserov porovnávací pyrometer sa skladá zo šedého a červeného klinového filtra a bichromatického (červenozelený) filtra, pyrometrickej žiarovky a regulačného obvodu, ktorý žeraví žiarovku na stálu teplotu. Šedý filter slúži na zrovnávanie jas žiarivca a žiarovky, jeho poloha je úmerná jasovej teplote T_j . Červeným filtrom sa nastavuje zhodná farba žiarenia meraného objektu a pyrometrickej žiarovky a jeho poloha je úmerná teplote farby T_b . Tento pyrometer nie je vhodný na meranie rýchlo meniacich sa teplôt.

Pomerový – tento druh pyrometra pracuje ako dva samostatné jasové pyrometre s dvoma vlnovými dĺžkami $\lambda_1=0,65\mu\text{m}$ (červený filter) a $\lambda_2=0,55\mu\text{m}$ (zelený filter). Filtrami sa určujú dve jasové teploty porovnaním jasú meraného žiariča a jasú pyrometrickej žiarovky pomocou šedého klinu. Pokiaľ sa teplota nemení príliš rýchlo, emisivita na výsledok merania nemá vplyv. Výhodou merania takýmto pyrometrom je malá citlivosť na zmenu veľkosti meraného objektu v zornom poli, to znamená že pri zmenšení objektu v zornom poli pomer oboch signálov zostane nezmenený a teda ani údaj teploty pyrometra sa nezmení.



Obr. 9 Porovnávací pyrometer na špeciálne rozloženie (1 - šedý klin, 2 – červený klin, 3 – červený filter, 4 – zelený filter, 5- dočasne pokovovaný hranol, 6 – pyrometrická žiarovka)

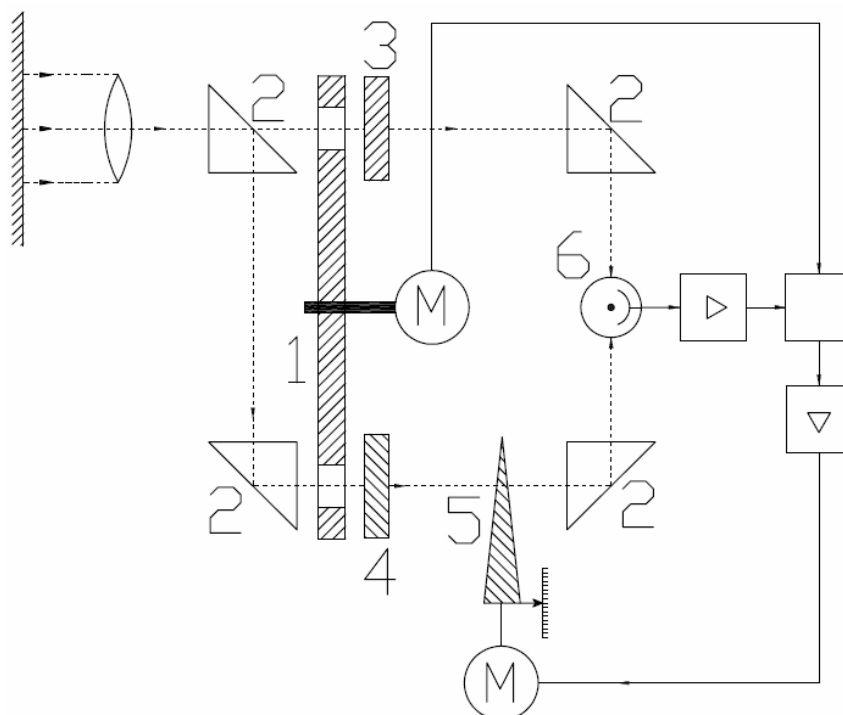


Obr. 10 Pomerový pyrometer na špeciálne rozloženie (1 - šedý filter, 2 – pyrometrická žiarovka, 3 – červený filter, 4 – zelený filter)

2.3.2 Objektívne pyrometre

Pomerové pyrometre

Pracujú na rovnakom princípe ako subjektívne pomerové pyrometre. Rozdiel je vo vyhodnocovaní merania, zatiaľ čo u subjektívnych pyrometroch je detektorom ľudské oko, u objektívnych sa o vyhodnocovanie stará elektronika a ako detektor je tu použitá napríklad fotodióda (obr. 11).



Obr. 11 Automatický pomerový pyrometer (1 – rotujúca clona, 2 – dočasne pokovovaný hranol, 3 – červený filter, 4 – zelený filter, 5 – červený klin, 6 – fotoelektrický článok)

Energetické pyrometre

Monochromatické

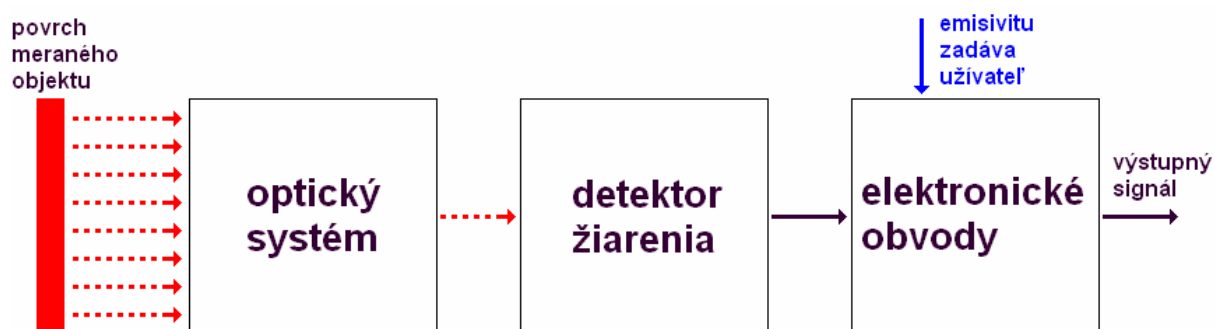
Pracujú s žiarením jednej alebo dvoch vlnových dĺžok vyhodnocujú pásmo $\Delta\lambda \rightarrow 0$. Platí pre ne to isté ako pre subjektívne jasové. Rozdielny je opäť len detektor.

Pásmové

Túto skupinu pyrometrov tvoria prístroje vyhodnocujúce teplotu v širšej spektrálnej oblasti ako monochromatické pyrometre. Rozmedzie vlnových dĺžok je relatívne úzke a súvisí s požadovaným účelom merania. Pásmo vymedzuje použitá optika, filtre a citlivosť snímacieho prvku. Používajú sa fotónky, fotočlánky, fotodiódy, fotoodpory, fototranzistory a i.. Meracie rozsahy sú rôzne napríklad: $(-50 \div 600)^\circ\text{C}$, $(0 \div 1000)^\circ\text{C}$, $(600 \div 3000)^\circ\text{C}$, $(500 \div 2000)^\circ\text{C}$,

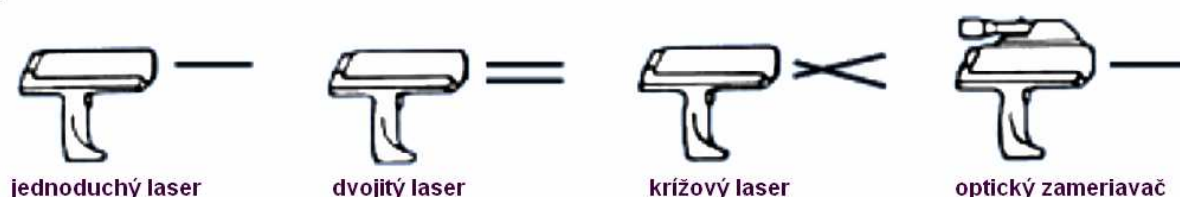
Výhodami pásmových pyrometrov sú veľmi rýchla reakcia na zmeny teploty a možnosť merať teplotu malých predmetov. Spektrálna citlivosť je závislá na druhu detektoru: selénové fotočlánky oblasť viditeľného žiarenia, kremíkové fotočlánky $0,6 \div 1,8 \mu\text{m}$, fotoodpory PbS $0,5 \div 3,6 \mu\text{m}$ apod.

Bloková schéma pásmového pyrometra je na obrázku 12. Energia vyžarovaná objektom prechádza optickým systémom za ktorým dopadá na detektor. Optický systém máva pevnú ohniskovú vzdialenosť (fixfokus). Veľkosť ohniskovej vzdialenosti udáva veľkosť snímanej plochy, ktorá je detektorom meraná na objekte.



Obr. 12 Bloková schéma bezkontaktného teplomera

Väčšina pásmových pyrometrov umožňuje zamerať meraný objekt a to buď pomocou vstavaného laseru, ktorý na meranom objekte vyznačí meraný bod resp. plochu alebo podobne ako fotoaparát majú niektoré modely zabudovaný hľadáček. Na obrázku 13 sú uvedené rôzne metódy zamerania meranej plochy:



Obr. 13 Spôsob zamerania snímanej plochy u prenosných pyrometrov

Podobne ako pri monochromatickom pyrometri, údaj tohto pyrometra T_p je u nečiernych žiaričov odlišný od skutočnej teploty T_m a platí medzi nimi vzťah:

$$\frac{1}{T_m} = \frac{1}{T_p} + \frac{\lambda}{C_2} \cdot \ln \varepsilon_p \quad (3.8)$$

Kde λ_p je charakteristická vlnová dĺžka žiarenia vo vymedzenom pásme, ε_p je pásmová emisivita meraného objektu.

Pásmová emisivita skutočných objektov veľmi silne kolíše a preto je odhad chyby len približný. Pásmové pyrometre nachádzajú využitie hlavne v prípadoch, keď sa medzi meraným objektom a pyrometrom často náhodne vyskytuje rušivé prostredie v oblasti infračerveného žiarenia napr. CO₂, vodné pary apod. V takomto prípade sa volí detektor, ktorého citlivosť leží mimo absorpčné pásmo plynu, ktorý sa vyskytuje prostredím medzi pyrometrom a meraným objektom.

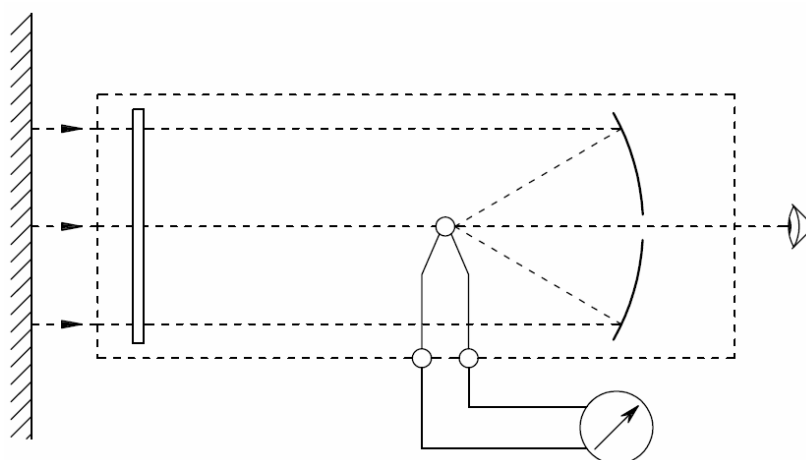
Pyrometre celkového žiarenia (radiálne, úhrnné)

Pracujú s žiarením v celom spektre vlnových dĺžok vyhodnocujú teplotu podľa Stefan-Boltzmannovho zákona ($0 < \lambda < \infty$). Emisivita nečiernych žiaričov je závislá na kvalite a stave povrchu telesa, materiáli a teplote. Korekcia údajov pyrometra je veľmi zložitá preto s radiálne pyrometre používajú na meranie teploty žiaričov blízky čierny žiaričom. Ako detektory sa pri takomto druhu pyrometrov používajú tepelné detektory (infračervené termočlánky, bolometre, termoelektrické a pyroelektrické detektory). Využitie našli radiálne pyrometre hlavne pri meraní teploty v peciach. Pri meraní teploty nečiernych žiaričov sa líši údaj pyrometra T_c od skutočnej teploty T_m podľa vzťahu:

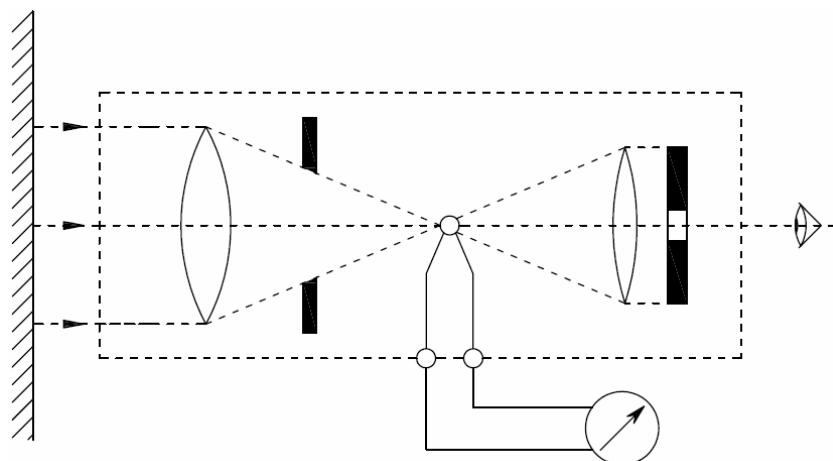
$$T_m = \frac{T_c}{\sqrt[4]{\varepsilon}} \quad (3.8)$$

Kde ε je emisivita žiarenia meraného žiariča.

Na obrázku obr. 14 je schéma radiálneho pyrometra s dutým zrkadlom a na obrázku obr. 15 je schéma pyrometra u ktorého je žiarenie sústreďované na detektor pomocou objektívu. Podľa druhu použitého detektoru môže byť rozsah radiálnych pyrometrov od -40°C až do 1000°C.



Obr. 14 Pyrometer celkového žiarenia s dutým zrkadlom



Obr. 15 Pyrometer celkového žiarenia s šošovkou

2.4 Zobrazovacie metódy

2.4.1 Termovízne metódy merania teploty s rozkladom obrazu

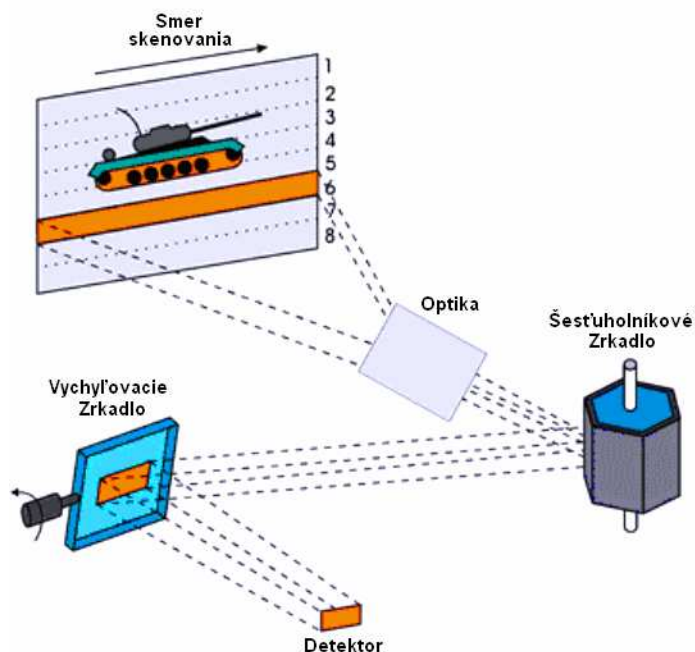
V prípade termovízie hovoríme o takzvaných infračervených kvantových detektoroch alebo zjednodušene o infračervených kamerách nazývaných aj termokamery. Základným princípom termovíznych metód je snímanie teploty plochy telesa rozložením do matice a to buď pomocou mechanického alebo elektrického rozkladu.

Opticko-mechanický rozklad

Pri mechanickom rozklade je plocha meraného objektu snímaná (skenovaná) postupne po riadkoch alebo stĺpcoch hovoríme o tzv. skenovacích systémoch. Skenovaná plocha sa sníma pomocou rýchlo sa pohybujúcej úzko smerovej optickej sústavy, ktorá privádza na malý detektor s jedným elementom žiarenie z celej skenovanej plochy. Táto metóda ale vyžaduje extrémne vysoké rýchlosti. V praxi sa preto častejšie využívajú detektory so sériou elementov. Tie sú skenované ako blok pozdĺž celého riadku hovoríme o sériovom skenovaní elementov. V niektorých skenovacích systémoch sa vyskytuje aj iný princíp skenovania riadkov. Optika je na rozdiel od predošlého typu pevná a pohybuje sa samotný detektor.

Iná metóda využívaná v skenovacích termokamerách je paralelné skenovanie elementov. V takomto systéme je na riadok jeden element ale skenuje sa niekoľko riadkov súčasne. Takýto spôsob znižuje homogenitu obrazu súčasne sa však znižuje skenovacia rýchlosť.

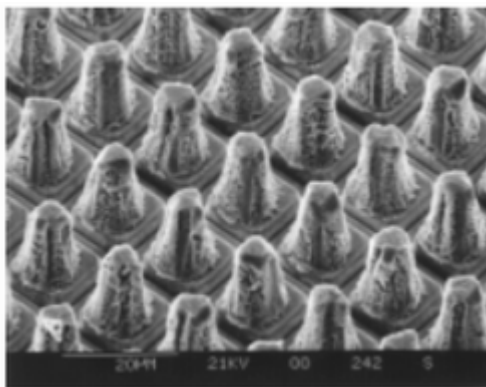
Ďalšou a účinnejšou metódou je využitie SPRITE (Signal Processing In The Element) detektoru. Sprite detektor bol prvým krokom k integrácii vo vývoji termokamier. Zatiaľ čo pred tým ako bol vyvinutý boli matice prvkov tvorené z jednotlivých prvkov a každý mal svoje vývody, SPRITE detektor spracovával signál na čipe čím sa znížil počet vývodov, zjednodušila konštrukcia a hlavne znížil vplyv okolitého šumu. Ďalšou nespornou výhodou SPRITE detektoru je, že jeden snímací prvok tu nahradzuje niekoľko bežných sériových elementov.



Obr. 16 Princíp skenovacieho systému

Elektronický rozklad (maticový detektor)

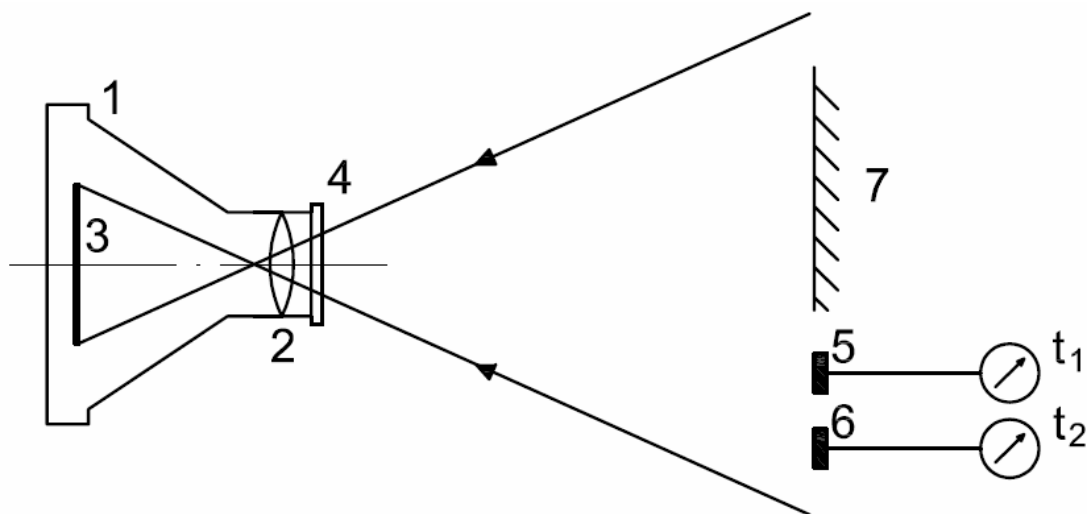
Pri elektronickom rozklade obrazu dopadá žiarenie na maticu tvorenú prvkami snímajúcimi toto žiarenie. Môžu byť z oblasti tepelných i kvantových detektorov. O spracovanie signálu sa stará elektronika ktorá je u novších technológií umiestnená na jednom čipe spolu so snímacími prvkami. Prvé termokamery s elektronickým rozkladom využívali na snímanie tepelného obrazu telesa pyroelektrický vidikón. V dnešnej dobe sú najčastejšie používané nechladené mikrobolometrické FPA detektory hlavne pre ich nižšiu cenu.



Obr.17 Pohľad na FPA detektor pod mikroskopom

2.4.2 Fotografické metódy merania teploty (fotometria)

Medzi plošné spôsoby merania teploty patrí aj fotometria. Fotometria využíva citlivosť fotografického materiálu na infračervené žiarenie ($\lambda=0,78\mu\text{m}$). Mieru teploty určuje stupeň černosti materiálu. Aby bolo možné priradiť určitému zčernaniu negatívu teplotu, vkladajú sa do zorného poľa aparátu pomocné body so známou teplotou. Povrchové teploty meraného objektu sa následne určujú pomocou fotometra. Dôležité je vytvoriť teplotné merítko v rozsahu $(250\div 1000)^{\circ}\text{C}$. Presnosť merania je potom závislá na emisivite merítka a meraného predmetu. Schéma fotografického zobrazovania tepelného poľa je na obrázku obr. 18. Na fotografický materiál dopadá infračervené žiarenie, ktoré je prepustené infračerveným filtrom na



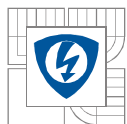
Obr.18 Fotografická metóda zobrazenia tepelného poľa (1 – fotoaparát, 2 – objektív, 3 –fotografický materiál, 4 –filter, 5, 6 –pomocné žiariče, 7 – meraný predmet)

2.5 Porovnanie bezkontaktných meracích prístrojov

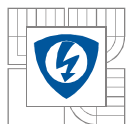
Vlastnosti bezkontaktných meracích prístrojov sú tak, ako už bolo spomenuté, dané predovšetkým použitým detektorom. Na základe detektora použitého v prístroji, je možné porovnať napríklad presnosť meracieho prístroja.

Pri subjektívnych pyrometroch môže nastať situácia, kedy viacerí pozorovatelia zaznamenajú pri rovnakých podmienkach merania rôzne výsledky. Tento fakt vyplýva zo skutočnosti, že zrak rôznych pozorovateľov reaguje na podnety rozlične (dolná aj horná hranica viditeľných vlnových dĺžok nie je rovnaká pre všetkých pozorovateľov a rôzne vnímanie farebných odtieňov pri rôznych pozorovateľoch). Z tohto dôvodu ich často nemožno považovať za presné.

Presnosť objektívnych detektorov je daná použitým materiálom detektora a technológiou spracovania infračerveného žiarenia. Dôležitú úlohu pri prístrojoch využívajúcich tieto detektory či už sú to bodové alebo plošné teploměry zohráva hlavne správne nastavenie emisivity. Pri nesprávnom nastavení sa môžeme dopustiť obrovských chýb a výsledok merania môže byť tým pádom nepoužiteľný.



Bezkontaktné meracie prístroje môžeme porovnať aj z hľadiska zobrazenia nameraných údajov. Pri pyrometroch to býva najčastejšie hodnota zobrazená buď to na analógovej stupnici alebo digitálnom displeji ktorý je súčasťou prístroja. Pri termovíznych systémoch je výsledok merania zobrazený a uložený na pamäťovom médiu ako obrázok uložený v rôznych formátoch a je možné s ním ďalej pracovať v na to určených programoch a vytvárať rôzne analýzy. Pri výbere takéhoto zariadenia je preto potrebné zvážiť aké údaje potrebujeme získať. Dôležitým činiteľom je samozrejme aj cena. V prípade potreby merania len určitých bodov zariadenia je investícia do termovízneho systému zbytočná. Ďalšou, pri výbere meracieho zariadenia, zváženia hodnou skutočnosťou je aj vyžadovaná presnosť merania. V prípadoch keď je potrebný len približný výsledok je postačujúci prístroj s pevne nastavenou emisivitou, ak však potrebujeme využívať prístroj pre rôzne povrchy a vyžadujeme presné výsledky je potrebný prístroj s nastaviteľnou hodnotou emisivity. Výber bezkontaktného teplomera závisí aj na rozsahu teplôt a taktiež na minimálnej a maximálnej teplote, ktorú potrebujeme merať. Pri výbere správneho bezkontaktného meracieho prístroja, ktorý má vyhovovať našim potrebám, treba venovať pozornosť všetkým spomenutým skutočnostiam ale i iným ako napríklad konštrukčné vyhotovenie, zameriavací systém a mnohým iným súvisiacim s vlastnosťami detektora a delením jednotlivých meracích zariadení ktorým sa zaoberá kapitola 2.2.1.



3 VYUŽITIE TERMOVÍZIE V PRAXI

Termovízia našla s postupom času široké uplatnenia v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. Z počiatku však boli tieto zariadenia veľmi drahé a ich masové rozšírenie umožnil až postupný vývoj elektroniky a zjednodušenia optických systémov. Na základe týchto skutočností sa vývoj termokamier delí do troch generácií.

3.1 História vývoja termokamier

1. **Generácia** – prvé termokamery vyvíjané hlavne pre vojenské účely vznikajúce v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch minulého storočia. Využívali sa jednoduché diskrétné detektory s maximálne 100 prvkami neskôr obsahovali až 180 elementov. Požívané materiály InSb, PbSe neskôr HgCdTe. Výrazný posun prinieslo v 80-tych rokoch vynájdenie SPRITE detektoru ktoré spracovávali pásma $8 \div 12 \mu\text{m}$ s optikou F/2 – F/4 s teplotným rozlíšením 0,2 K.
2. **Generácia** – Využitie skenovacieho systému spolu s lineárnymi alebo 2D FPA detektormi s počtom $100 \div 1000$ elementov alebo multiprvkové SPRITE detektory. Teplotné rozlíšenie zlepšené na 0,1 K. Integrácia snímacích elementov a základnej čítacej logiky na jeden čip umožnilo zmenšiť rozmery a hmotnosť a začali sa vyrábať a predávať aj komerčné verzie. Ďalším vylepšením sú multilineárne FPA tie dosahujú tepelné rozlíšenie až 0,05 K. Využívajú HgCdTe detektory s 288×4 elementmi a sú určené pre pásma $3 \div 5 \mu\text{m}$ a $8 \div 10,5 \mu\text{m}$
3. **Generácia** – Termokamery 3. generácie používajú na spracovanie signálu chladené 2D FPA detektory vyrábané z HgCdTe alebo InSb, nechladené mikrobolometrické FPA alebo technológiu QWIP. Počet elementov sa zvýšil na jeden a viac miliónov. Spracovanie signálu je plne digitálne a je realizované na jednom čipe. Nechladené typy termokamier sa vyznačujú nižšou kvalitou obrazu ale ich hlavnou devízou je 2 až 4 krát nižšia cena ako u chladených typov.

3.2 Aplikácia termovíznych systémov

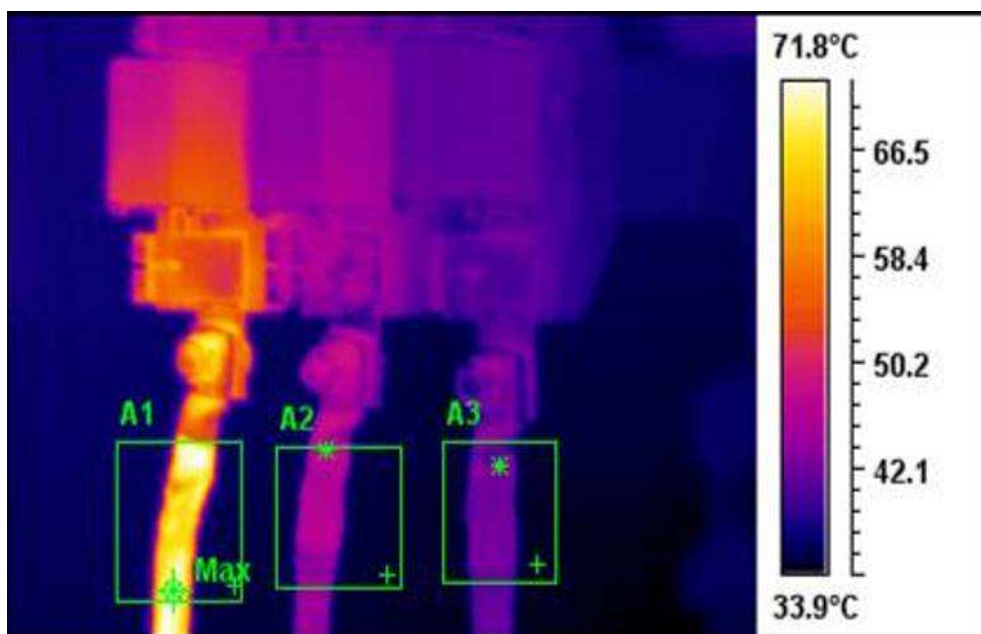
Termovízia našla uplatnenie takmer vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Jej hlavnými devízami sú hlavne jednoduchosť a rýchlosť merania, nemá vplyv na merané objekty a i.

3.2.1 Energetika

Termovízia nachádza uplatnenie v energetike pri výrobe a následne aj distribúcii elektrickej energie. Jej úlohou je predovšetkým vykonávanie monitoringu elektrických zariadení, ktorý slúži na hľadanie a identifikovanie prípadných závad už v počiatočnom štádiu. Na základe takýchto meraní je možné závalu odstrániť pred tým, ako by mohla spôsobiť poškodenie zariadenia, prenosovej alebo distribučnej sústavy a tým spôsobiť škody nie len výrobcovi a dodávateľovi elektrickej energie ale aj odberateľom. Termovízia našla uplatnenie v niektorých konkrétnych oblastiach energetiky pri kontrole:

- elektrických strojov a prístrojov
- zariadení zaisťujúcich napájanie
- rozvodní vn a vvn
- vedení
- úsekových rozvádzačov

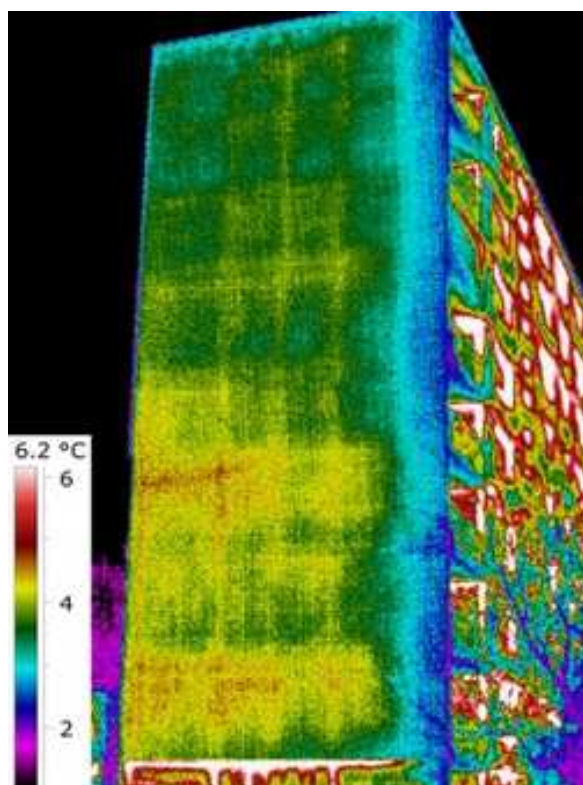
Pri kontrole motorov a generátorov sa sleduje prehrievanie mechanických častí ako sú napríklad ložiská. Včasné zistenie takejto poruchy a jej odstránenie môže zabrániť zhoreniu ložiska prípadne havárii motora a i., ktoré by znamenali nutnú opravu veľkého rozsahu. Termovízia sa často používa aj na sledovanie magnetického obvodu elektrických strojov, kontrolu teploty na zberacích ústrojenstvách a budiacich sústavách generátorov, zisťovanie teplotných rozdielov na polovodičových prvkoch, meranie teploty na silových častiach elektrických strojov. Pri transformátoroch sa sleduje prípadné oteplenie častí transformátora, priechodky, rozloženie teplotného poľa nádob olejových transformátorov a i. Kontrola vedení sa realizuje za pomoci vrtuľníka, ktorý má vo väčšine prípadov termovíznu kameru už zabudovanú. Meranie sa uskutočňuje pri rýchlosti 50 až 80 km/h vo vzdialenosti 10 až 20 m s prevýšením 5 až 10 m. Tieto aspekty sú dané hlavne poveternostnými podmienkami. Touto metódou sa zisťuje oteplenie spojovacích prvkov je rýchla a efektívna a umožňuje sledovať veľké úseky vedenia v pomerne krátkom čase.



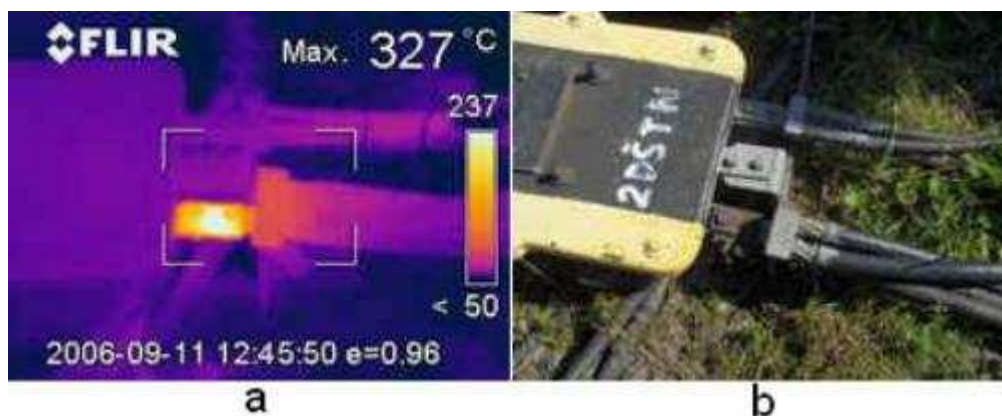
Obr. 19 Pret'aženie jednej z fáz

3.2.2 Priemysel

V priemysle našla termovízia veľmi široké uplatnenie. Používa sa napríklad pri výrobe automobilov, v metalurgii pri zlievaní a tepelnej úprave kovov, výrobe papiera, pri meraní rozloženia teploty na plášťoch priemyselných pecí, pri kontrole izolačných vlastností skriň chladiarenských zariadení a vozidiel, pri meraní rozloženia teploty plameňa horákov, požiarnych prevenciách, pri lokalizácii potrubí v zemi, pri meraní tepelných únikov z budov a i. Veľké rozšírenie v priemysle umožnilo niekoľko aspektov ako napríklad veľká presnosť merania, dokonalá lokalizácia meraného miesta a do merania sa nezanáša systémová chyba spôsobená kapacitou kontaktného teplomera, eliminuje sa chyba spôsobená tepelnou vodivosťou materiálu a prostredia. Termovízia ďalej umožňuje zobrazit' teplotu plameňa a merať cez určité transparentné materiály ako napr. sklo.



Obr. 20 Meranie úniku tepla z panelového domu



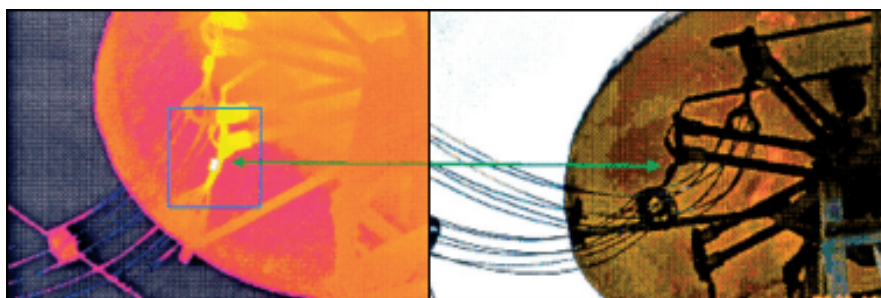
Obr. 21 Stykový transformátor (a) termosnímkou preťaženého spoja b)bežná fotka bez viditeľnej poruchy)

3.2.3 Telekomunikácie

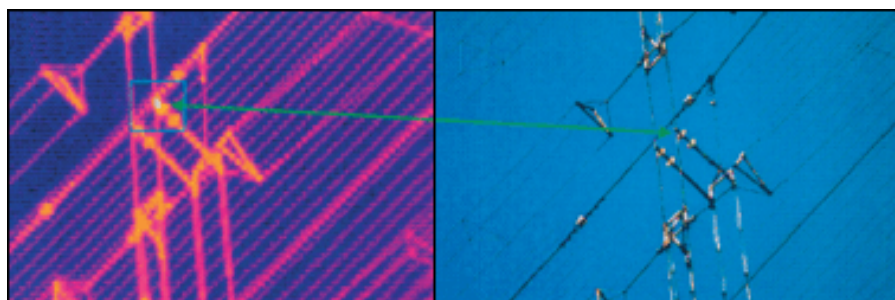
V posledných desaťročiach nastal veľký rozmach aj v tejto oblasti. Anténové systémy sú pomerne zložité a sú veľmi citlivé na zhoršenie prechodových odporov dielčích anténových uzlov na základe ktorých klesá emitovaný výkon vysielača a na prechodoch vznikajú straty. Využitie termovízie umožňuje zjednodušiť revízie týchto zariadení. V prípade ak by sa nedala využiť termovízia jednalo by sa o nákladné a nebezpečné práce vo výškach, ktoré sú navyše časovo náročné. S pomocou termokamery sa revízia stáva jednoduchšou a rýchlejšou z čoho vyplývajú aj značné finančné úspory. Kontrola antén sa zameriava na tri časti:

1. údržba napájacieho rozvodu antény
2. údržba vlastnej antény
3. údržba fázovača

Merania je vhodné realizovať na jar a na jeseň, pričom je potrebné brať ohľad na stupne oteplenia a vzhľadom na meranie vo vonkajších podmienkach aj navrhované odporúčania.



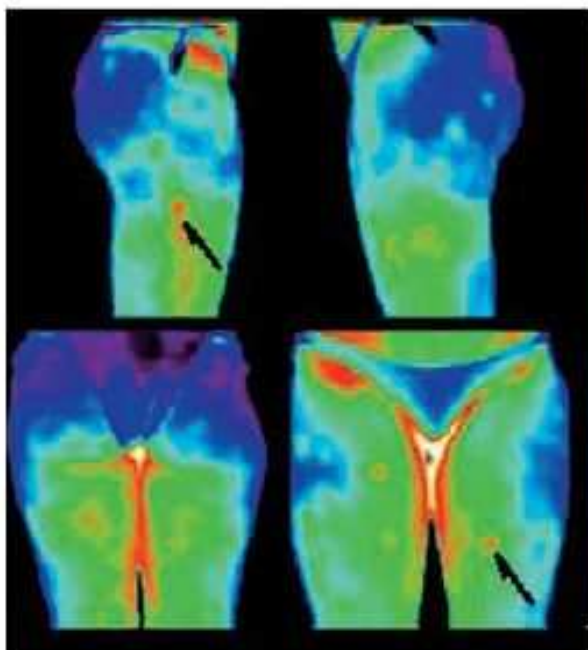
Obr. 22 Svorka kontaktu prepínača antény



Obr. 23 Predný spoj transformačného člena

3.2.4 Medicína

Termovízia sa v medicíne využíva na základe predpokladu, že chorobou postihnuté miesto vydáva do okolia iné množstvo tepla ako okolité zdravé tkanivo. V mnohých krajinách sa využíva ako jedna z diagnostických metód vo vedecko-výskumnej oblasti, v niektorých krajinách je presadzovaná ako vyšetrovací metóda (screening). Postupným vývojom sa stále viac zlepšuje jej diagnostické opodstatnenie. V prospech termovízie hovorí niekoľko aspektov ako neinvazívnosť, jednoduchosť, absolútna bezpečnosť pre pacienta aj obsluhu a v neposlednom rade aj relatívne nízka cena vyšetrení. Časté uplatnenie nachádza napríklad pri vyšetrovaní a liečbe cievnych ochorení, vyšetrení očí, reumatických ochorení kĺbov, kožných ochorení ako doplnková metóda sa používa pri vyšetreniach štítnej žľazy, pri vyhľadávaní metastáz v krčných a axiálnych lymfatických uzlinách a i.



Obr. 24 Využitie termovízie pri liečbe po liposukcii

3.2.5 Výskum a vývoj

V tejto oblasti, ktorá má ďalej nepochybne obrovský význam pre pokrok vo všetkých už spomínaných oblastiach ľudskej činnosti, našla termovízia tiež široké uplatnenie. Používa sa napríklad pri nedeštruktívnej defektoskopii, kontrole kvality, vývoji materiálov, kontrole výrobných procesov a i. Uplatnenie nachádza hlavne pri nedeštruktívnych skúškach materiálov a vytváraní tepelných obrazov skúšaných materiálov v reálnom čase s možnosťou záznamu statických a dynamických dejov. Ďalšou z oblastí, ktorá často termografiu využíva je slaboprúdová elektronika kde sa meria rozloženie teploty na doskách vyvíjaných plošných spojov a na základe zistených informácií sa následne môže upraviť návrh rozloženia súčiastok. Termovízne meranie pomáha pri určovaní chybných súčiastok a mnohých iných činnostiach súvisiacich s vývojom a výskumom v elektrotechnike, strojníctve a iných priemyselných oblastiach ako aj zdravotníctve a mnohých iných oblastiach či už technického alebo netechnického charakteru.

3.2.6 Ekológia

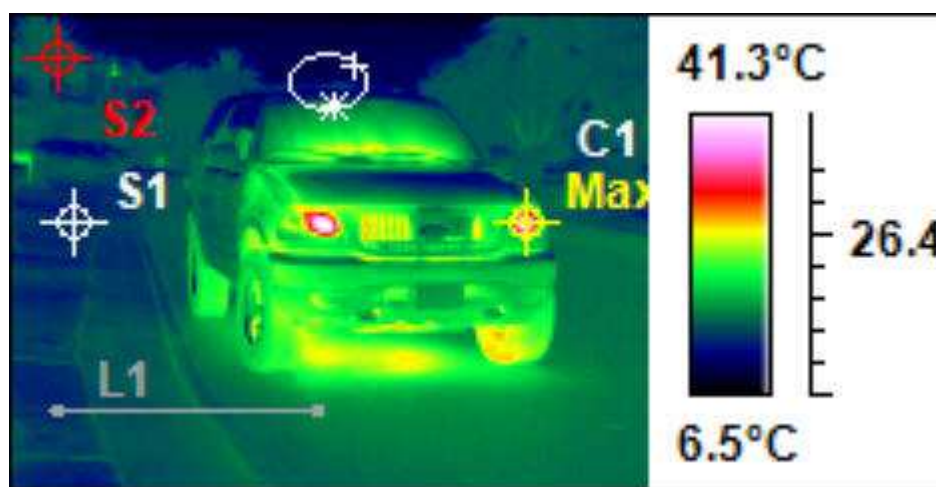
Ekológia je ďalšou z oblastí kde nachádza v poslednom období termovízia široké uplatnenie. Hľad po ekologickejších vozidlách, zariadeniach a budovách stále narastá a téma ekológie je aktuálna hlavne v posledných rokoch. Pomocou termovízie je možné získať napríklad informácie o teplote vody vo vodných nádržiach a odhaliť teplejšie miesta, ktoré vznikajú v dôsledku nedostatočného prúdenia vody, a sú nebezpečné pre rastliny a živočíchy a i. Na základe leteckých meraní vykonávaných nad obývanými oblasťami je možné získať poznatky o mikroklimách a na základe snímok je ďalej možné zistiť množstvo naakumulovanej a odovzdanej tepelnej energie rôznymi objektmi. Následne možno vhodnými prostriedkami, ako je napr. vysádzanie stromov, tento stav upraviť. Termovízia sa používa ďalej napríklad aj na sledovanie atmosféry (hurikány, búrky a i.).

3.2.7 Špeciálne aplikácie

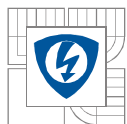
Ako už bolo spomenuté termokamery boli pôvodne vyvíjané pre armádne účely. Ich úlohou bolo okrem nočného videnia aj prieskumné účely. Termovízia umožňuje zobrazenie reálneho obrazu bojiska aj pri znížených podmienkach viditeľnosti. Vďaka svojim prednostiam našli tieto prístroje rýchlo uplatnenie aj v iných bezpečnostných zložkách ako je napríklad polícia okrem toho napríklad aj u hasičov alebo u leteckej záchrannej služby ktoré využívajú termovíziu najčastejšie na hľadanie nezvestných osôb napríklad v horských oblastiach. Postupný vývoj a stále sa zlepšujúce a vylepšené systémy umožňujú priame prepojenie s počítačom, automatický režim pri vyhľadávaní, nastavenie prístroja tak aby zobrazoval teplotu, ktorú vyžaruje ľudská koža, červenou farbou a iné. Termovízia nachádza široké uplatnenie napríklad aj v kriminalistike. Umožňuje napríklad určiť či bolo vozidlo použité aj niekoľko hodín po jeho odstavení. V poslednej dobe nachádza veľké uplatnenie aj pri ochrane objektov a majetku, sledovaní pohybu techniky, vozidiel, osôb a pod. Možnosti pri vyhľadávaní osôb demonštruje obrázok obr. 25. V ľavej polovici obrázka vidíme osobu, ktorá má ruku ukrytú v plastovom vreci čo predstavuje pre zrak a bežné optické zariadenia prekážku. Termokamera na základe rozdielneho infračerveného žiarenia vychádzajúceho z vnútra a povrchu vreca rozozná, že za prekážkou je ukrytá ruka.



Obr. 25 Zistenie predmetu za prekážkou



Obr. 26 Termosnímka zhotovená po odstavení automobilu



4 MERANIE OTEPLENIA POISTKY

Praktickým príkladom využitia termovízie je napríklad meranie teploty istiacich zariadení. Na základe takéhoto merania môžeme určiť či napríklad poistka pracuje v bežnom pracovnom stave alebo či nie je preťažená. Môžeme určiť preťaženie jednej z fáz pri trojfázovom zariadení alebo napríklad zistiť zlé spojenie. Na základe takýchto poznatkov potom môžeme vykonať opatrenia ktoré zabránia prerušeniu dodávky elektrickej energie, poškodeniu zariadení či iným závadám.

4.1 Zadanie

Termovíznou kamerou premerajte časový priebeh oteplenia poistky.

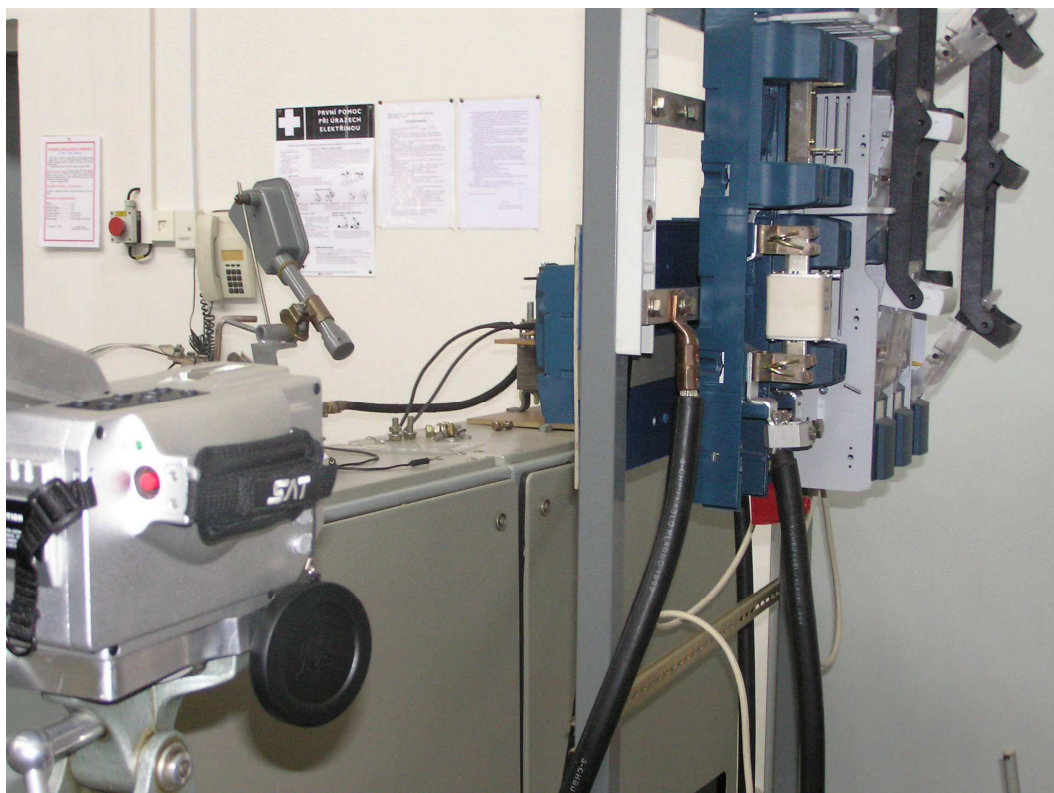
- 1) Pripravte pracovisko
- 2) Pripojte na poistku zdroj napätia a pomocou autotransformátora nastavte prúd na hodnotu I_N použitej poistky
- 3) V daných časových úsekoch premerajte teplotu keramického puzdra, noža a pružiny poistky pomocou termočlánku a termovíznej kamery
- 4) Po uplynutí času $t=60\text{min}$ zvýšte prúd na hodnotu $1,5 \times I_N$ a pokračujte v meraní
- 5) Namerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky a vhodne graficky spracujte
- 6) Na základe hodnôt nameraných pomocou termočlánku určite emisivitu meraných materiálov pre každý bod merania a zistite či sa so zmenou teploty mení aj emivity materiálu
- 7) Vyhodnoťte meranie

4.2 Postup merania

Meranie sme uskutočnili v laboratóriu výkonovej elektroniky na prípravku simulujúcom istiaci obvod na ktorom bolo možné pri bezpečnom napätí možné dosiahnuť potrebnú veľkosť prúdu. Parametre použitej poistky:

- OEZ PLN2 gG
- $I_N = 400\text{A}$, $U = 400\text{V}\sim$
- $I_1 = 120\text{kA}$
- IEC 269-2-1

Pred začatím merania bolo potrebné nastaviť v kamere emisivitu meraného objektu a hodnoty ostatných veličín vplývajúcich na meranie. Vzhľadom na požiadavku zachytenia troch rozličných teplôt sme zvolili univerzálnu hodnotu emisivity $\varepsilon=0,8$. Ostatné hodnoty ktoré bolo treba nastaviť boli vzdialenosť termokamery od meraného objektu $l=1\text{m}$, okolitá teplota $T=16^\circ\text{C}$ a relatívnu vlhkosť okolitého vzduchu, ktorá bola 66%. Nastavenie týchto hodnôt je zobrazené aj vo výsledkovej tabuľke (result table) pri každej snímke spracovanej do formy výstupného protokolu o meraní v programe Sat Report. Meracie pracovisko je vyobrazené na obrázku 27.



Obr. 27 Meranie oteplenia poistky termovíznou kamerou

Po nastavení žiadaných veličín bolo potrebné na záver kameru správne zaostriť po tomto úkone bola pripravená na meranie. Následne sme pripojili skúšobný obvod na zdroj napätia a nastavili žiadaný prúd $I_N=400A$. Zhruba po piatich minútach sme uskutočnili prvé meranie najskôr pomocou termočlánku postupne na puzdre, noži a pružine poistky a potom sme zostrojili termosnímku. Tento postup sa opakoval v zvolených časových intervaloch až do času $t=60min$ kedy sme prúd tečúci poistkou zvýšili na hodnotu $I=600A$ a opäť sme v zvolených časových intervaloch zaznamenávali teplotu jednotlivých častí až do času $t_k=90min$. V prípade dlhšie trvajúceho preťaženia 1,5 násobkom I_N by mohlo totiž dôjsť k zničeniu poistky.

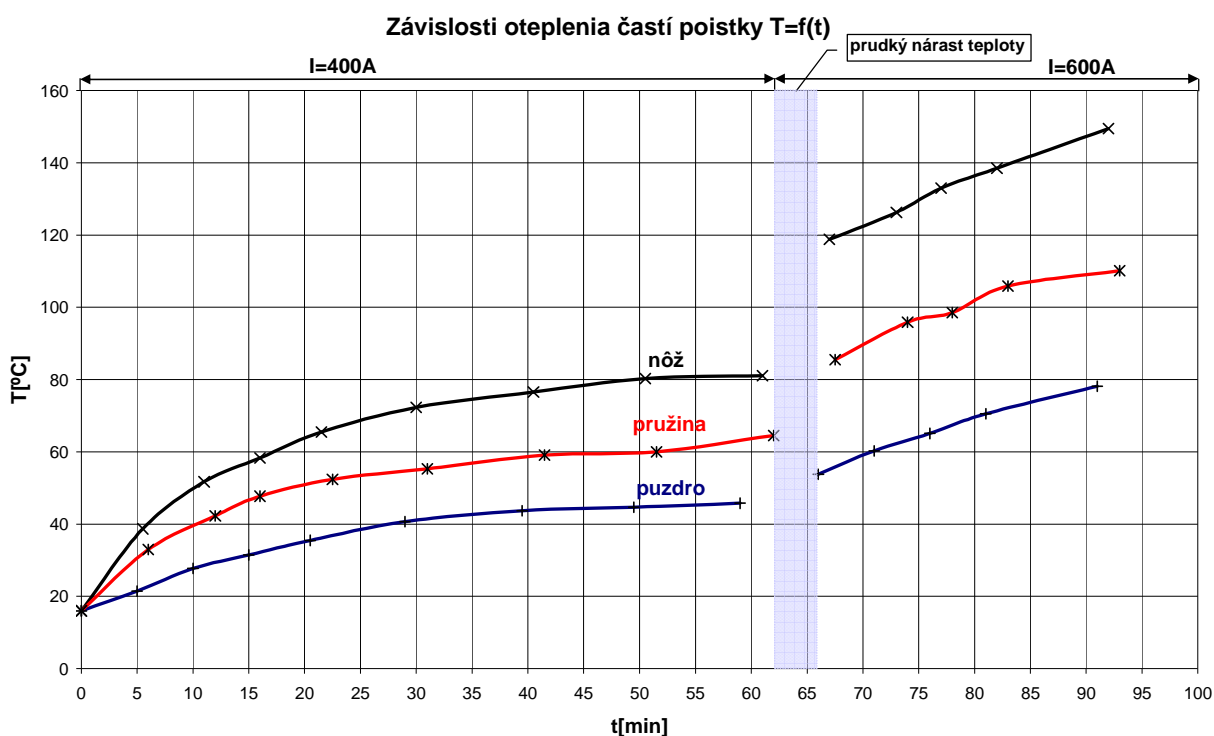
4.3 Spracovanie merania

Hodnoty zistenej teploty pre stanovené prúdy a časové intervaly sme zapísali do tabuľky 1. Keďže k dispozícii sme mali len jeden termočlánok, meranie s ním sme museli na jednotlivých častiach poistky uskutočňovať postupne s odstupom zhruba jednej minúty a z tohto dôvodu sme zapisovali aj časy jednotlivých meraní, ktoré sme taktiež zaznamenali v tabuľke 1. V tabuľke 1 sú ďalej zaznamenané poradové čísla snímkov zhotovených termokamerou.

Tab. 1 Teplota jednotlivých částí poistky nameraná termočlánkom

prúd poistkou	orientačný čas	puzdro		nôž		pružina		snímka
I[A]	t[min]	t[min]	T[°C]	t[min]	T[°C]	t[min]	T[°C]	
400A	0	0	16	0	16	0	16	685 050
	5	5	21,5	5,5	38,7	6	33	685 051
	10	10	27,7	11	51,7	12	42,3	685 052
	15	15	31,5	16	58,3	16	47,7	685 053
	20	20,5	35,5	21,5	65,5	22,5	52,4	685 054
	30	29	40,7	30	72,3	31	55,3	685 055
	40	39,5	43,7	40,5	76,6	41,5	59,1	685 056
	50	49,5	44,7	50,5	80,3	51,5	60	685 057
	60	59	45,8	61	81,1	62	64,5	685 058
600A	65	66	53,8	67	118,8	67,5	85,5	685 059
	70	71	60,3	73	126,3	74	95,9	685 060
	75	76	65,1	77	133	78	98,5	685 061
	80	81	70,5	82	138,5	83	105,9	685 062
	90	91	78,2	92	149,5	93	110,1	685 064

Na obrázku 28 je graf závislosti teploty na čase, zostrojený na základe hodnôt nameraných pomocou termočlánku a zaznamenaných v tabuľke pre oba prúdy a všetky tri sledované časti poistky.

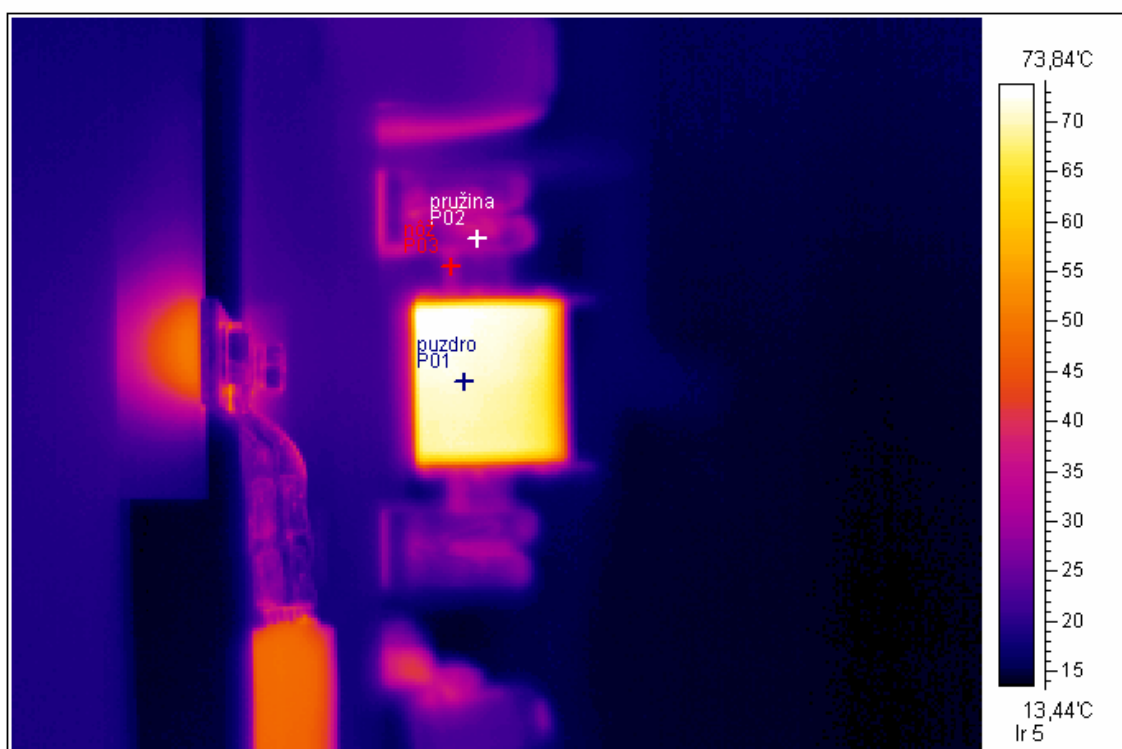


Obr. 28 Závislosť oteplenia poistky na čase

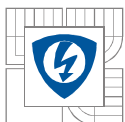
Z grafu je zreteľné, že teplota spočiatku stúpa prudšie v čase $t=(20\div 30)min$ sa prudkosť jej nárastu znižuje a po uplynutí času $t=60min$ sa začína ustáľovať. Keďže sme po 60 minútach prúd zvýšili na 600A môžeme v časovom intervale zhruba medzi 60 a 65 minútou pozorovať oblasť prudkého nárastu teploty a približne od času $t=65min$ opäť nasleduje takmer rovnomerný rast závislostí.

Meraním oteplenia poistky sme sa okrem iného pokúšali overiť aj fakt, či sa počas nárastu teploty mení aj emisivita jednotlivých materiálov. Z tohto dôvodu sme na základe hodnôt nameraných termočlánkom a zaznamenaných v tabuľke 1 upravovali na každej termosnímkke emisivitu každého materiálu dovedy, kým sa teploty meraných bodov na termosnímkke približne nezhodovali s hodnotami nameranými termočlánkom. Na obrázku 29 a tabuľke 2 sú zobrazené časti protokolu vytvoreného pomocou programu Sat Report pomocou ktorého sme určovali výsledné emisivity jednotlivých častí poistky. Zistené hodnoty emisivity a približnej teploty bodov na termosnímkach sme potom zaznamenali v tabuľke 3.

t=40min



Obr. 29 Termosnímkka poistky zhotovená v čase $t=40min$



Tab. 2 Výsledková tabulka z protokolu o meraní

IR Info	Value
ems	0,8
dist	1
envtmp	16
RelHum	66%
Label	Value
P01:Temp	62,63
P01:ems	1
P02:Temp	59,15
P02:ems	0,309
P03:Temp	76,56
P03:ems	0,162

Tab. 3 Tabuľka zistených emisív

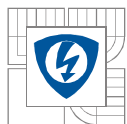
prúd poistkou	infor. čas	puzdro			nôž			pružina		
		termočlánok	kamera		termočlánok	kamera		termočlánok	kamera	
I[A]	t[min]	T[°C]	T[°C]	ε[-]	T[°C]	T[°C]	ε[-]	T[°C]	T[°C]	ε[-]
400A	5	21,5	35,96	>1	38,7	38,76	0,230	33,0	33,04	0,485
	10	27,7	43,72	>1	51,7	51,65	0,178	42,3	42,28	0,366
	15	31,5	50,81	>1	58,3	58,27	0,183	47,7	47,70	0,350
	20	35,5	51,31	>1	65,5	65,47	0,154	52,4	52,44	0,295
	30	40,7	58,33	>1	72,3	72,42	0,161	55,3	55,28	0,324
	40	43,7	62,63	>1	76,6	76,56	0,162	59,1	59,15	0,309
	50	44,7	65,96	>1	80,3	80,12	0,164	60,0	60,03	0,321
600A	60	45,8	67,45	>1	81,1	81,10	0,173	64,5	64,54	0,299
	65	53,8	82,51	>1	118,8	118,57	0,154	85,5	85,53	0,335
	70	60,3	99,70	>1	126,3	128,98	0,163	95,9	95,86	0,328
	75	65,1	107,05	>1	133,0	133,03	0,166	98,5	98,56	0,330
	80	70,5	113,93	>1	138,5	138,54	0,168	105,9	105,90	0,310
	90	78,2	123,06	>1	149,5	149,32	0,162	110,1	109,96	0,310

4.4 Použité prístroje

Termokamera SH-68/HY-6800

Termočlánok + merací prístroj Fluke 289

v.č. 97220164



4.5 Vyhodnotenie merania

Na základe hodnôt uvedených v tabuľke 3 je zreteľné, že emisivita sa počas merania menila. Vzhľadom na rozdielne výsledky pri jednotlivých častiach poistky budeme každú z častí posudzovať samostatne.

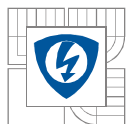
4.5.1 Puzdro

V prípade puzdra sa ani pri nastavení emisivity na hodnotu $\varepsilon=1$, ktorá zodpovedá absolútne čiernemu telesu, nepodarilo dosiahnuť vyrovnanie teplôt získaných pomocou termočlánku a termokamery. Naskytá sa otázka kde mohla pri meraní vzniknúť taká veľká chyba pretože rozdiel teplôt sa pohybuje aj pri emisivite $\varepsilon=1$ v rozmedzí 13°C až 45°C. Existuje niekoľko možností, ktoré daný problém vysvetľujú.

1. Meracie termočlánky majú niekoľko nevýhod. Jednou z nich je spôsob priloženia termočlánku k meranému objektu. Pri manuálnom meraní nie je možné priložiť článok vždy na to isté miesto pokiaľ nie je označené a ako je zreteľné z termosnímkov rozloženie teploty na povrchu objektu nie je konštantné. Ďalšími dôležitými aspektmi sú uhol priloženia, spoločná dotyková plocha, tlak vyvinutý na termočlánok v priebehu merania a i. Niektoré z nevýhod termočlánkov spočívajú v ich fyzikálnom princípu, sú to napríklad limitovaná presnosť pri určitých teplotách, citlivosť na priemyselné parazitné rušenie a i. Na overenie posledných spomenutých možností vzniku chyby by bolo ale potrebné vykonať ďalšie presné merania.
2. Jednou z dôležitých skutočností pri meraní termokamery je okrem emisivity aj teplota okolia. Vzhľadom na nízku teplotu okolia mohla chyba nastať napríklad častou prítomnosťou tela osoby vykonávajúcej meranie v zornom poli kamery. Pri meraní termočlánkom totiž merajúci vždy opakovane vstupoval do priestoru medzi poistkou a kamerou. Povrch puzdra poistky je biely a pri malej vzdialenosti medzi poistkou a kamerou sa v ňom môže čiastočne odrážať ľudské telo alebo okolité predmety. Tieto nepriaznivé okolité vplyvy môžu mať tiež vplyv na to ako kamera v konečnom dôsledku zosníma potrebné informácie.
3. Ďalším faktorom ktorý mohol zkresliť výsledky merania je samotný povrch puzdra poistky. Na puzdre sú vytlačené určité potrebné informácie ktoré môžu mať vplyv na emisivitu, povrch poistky mohol byť ďalej znečistený, zamastený alebo inak znehodnotený, povrch nie je úplne hladký preto môže rôzne vplývať na radiáciu a odraz žiarenia a i.

4.5.2 Nôž

Pri určovaní emisivity v prípade kovového noža sa nám podarilo získať relevantné výsledky. Nie je možné ich však považovať za úplne správne. V prípade nízkych hodnôt emisivity totiž značný rozdiel znamenajú už stotiny určenej emisivity a v našom prípade sa zmenila hodnota emisivity v rozsahu zhruba 8 stotín. Jedným z dôvodov je, že určená emisivita nemá stúpajúcu ani klesajúcu tendenciu ale rôzne kolíše. Kolísanie bolo ale spôsobené nekontinuitnosťou merania. Ďalším z dôvodov chyby merania môže byť opäť ako pri puzdre spôsob prikladania termočlánku a miesto priloženia.

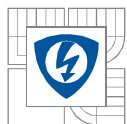


4.5.3 Pružina

Pre pružinu možno použiť rovnaké závery ako pre nôž poistky. Meranie bolo opäť relatívne presné a správne. Avšak opäť sa nám nepodarilo potvrdiť ani vyvrátiť tvrdenie, či sa emisivita s rastúcou teplotou mení pretože nami zistené hodnoty emisivity opäť kolísali.

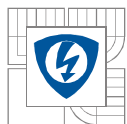
4.6 Záverečné zhodnotenie výsledkov merania

Z výsledkov merania je zrejmé, že sme sa dopustili niekoľkých chýb. Pre získanie kvalitnejších výsledkov by bolo potrebné vykonať niekoľko opatrení vďaka ktorým by sa tieto chyby odstránili. Jedným z možných riešení by bolo zväčšenie vzdialenosti kamery od meraného objektu. Ďalším veľmi efektívnym riešením by bolo zautomatizovanie merania. Použitý prístroj Fluke 289 umožňuje pomocou priloženého softvéru vytvoriť program pre automatické meranie. V takomto prípade by bolo potrebné použiť tri prístroje tohto typu a do všetkých nahráť vytvorený program s navolenou frekvenciou meraní. Termočlánky by bolo potrebné k poistke upevniť aby sa dodržal stály merací bod. Takéto upevnenie je možné realizovať napríklad pomocou čiernej izolačnej pásky, ktorá má emisivitu blízku jednej tak by sa vytvorili aj overovacie body priamo pre termokameru. Hodnoty namerané prístrojmi je po ukončení merania možné stiahnuť pomocou usb kábla priamo do počítača a tým naviac zjednodušiť a urýchliť spracovanie merania. Výsledky z takto vykonaného merania by boli oveľa presnejšie pretože nevzniká žiadne časové oneskorenie medzi jednotlivými meraniami ani chyby spôsobené zlým priložením termočlánku. Naviac čierna páska má emisivitu blízku jednej na základe čoho by bolo možné teplotu na termosnímkach overiť dvoma blízкими bodmi jedným na páske a druhým na samotnom materiáli meranej časti poistky.



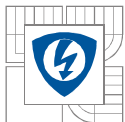
5 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo oboznámenie sa z rôznymi druhmi bezdotykového merania, popis ich vlastností výhod a nevýhod, využitie termovízie v praxi a overenie jej použitia a vlastností v laboratórnych podmienkach na konkrétnom príklade. Z tohto dôvodu sa jej prvá časť zameriava na detektory využívané v zariadeniach určených na bezkontaktné meranie teploty a rôzne druhy v praxi používaných bezdotykových teplomerov. V druhej časti je práca zameraná na oblasti využitia termovízie. Je zrejmé, že termovízia vyvíjaná pôvodne pre armádne účely našla a stále nachádza široké uplatnenie takmer vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Pomáha v technickej sfére pri údržbe zložitých a drahých zariadení kde by bol často iný spôsob merania teploty použiteľný len veľmi ťažko alebo by takéto meranie bolo oveľa nákladnejšie. V zdravotníctve nahrádza iné, ľudskému zdraviu škodlivé, vyšetrovacie metódy a dáva možnosť vzniku novým vyšetrovacím a liečebným metódam. Neustály vývoj, ktorý so sebou okrem iného prináša aj stále výkonnejšie zariadenia a samozrejme znižuje ich cenu, a iné už spomenuté aspekty znamenajú pre termovíziu ďalšie rozširovanie a využitie v nových aplikáciách. Termovízia prináša množstvo výhod, ktoré sa snaží táto práca ozrejmiť, pre dosiahnutie správnych výsledkov je však potrebné dostatočné množstvo informácií z danej problematiky. Veľmi podstatnou zložkou merania je nastavenie správnej emisivity meraného objektu ako aj iných okolitých podmienok ako sú teplota okolia, vlhkosť a vzdialenosť meraného objektu a termovíznej kamery. Len pri správnom nastavení týchto hodnôt možno získať pravdivé výsledky s ktorými je možné ďalej pracovať. Posledným z bodov práce bolo meranie oteplenia poistky na základe ktorého sme chceli zistiť zmenu emisivity pri zmene teploty. Tento teoretický poznatok sa nám nepodarilo overiť z dôvodov uvedených vo vypracovaní merania. Ako však bolo spomenuté, po určitých úpravách by bolo možné meranie uskutočniť s oveľa väčšou presnosťou a dosiahnuť tak výsledky, ktoré by umožnili potvrdiť tvrdenie o zmene emisivity.



LITERATÚRA

- [1] Aplikácia solárnych tepelných systémov s garantovaním výsledkov vo východnej Európe
<http://www.solareast-gsr.net/Task-5/EAST-GSR%20WP5%20D10%20Slovakia.pdf>
- [2] ČECH, J. - PERNIKÁŘ, J. - PODANÝ, K.: Strojírenská metrologie, skriptum FSI – VUT
- [3] Fotodetektory 3,
http://www.kme.elf.stuba.sk/kme_new/buxus/docs/predmety/PLF/fotodetektory3.doc
- [4] KADLEC, K, BEZDOTYKOVÉ TEPLoměRY, <HTTP://WWW.VSCHT.CZ/UFMT/KADLECK.HTML>
- [5] KREIDL, M.: Měření teploty senzory a měřicí obvody, BEN Praha, Praha, 2005
- [6] LYSENKO, V.: Detektory pro bezdotykové měření teplot, BEN Praha, Praha, 2005
- [7] PYROMETR, <HTTP://CS.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PYROMETR>
- [8] SNÍMAČE TEPLoty (BEZDOTYKOVÉ),
<HTTP://FEL.UTC.SK/~JANOT/PREDMETY/ST06PREDN.PDF>
- [9] Šimko M. a kol.: Aplikáčné možnosti termovízie v praxi
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26599
- [10] VOJÁČEK, A.: Co jsou bolometry a mikrobolometry?, <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART196-co-jsou-bolometry-a-mikrobolometry-.html>
- [11] VOJÁČEK, A.: THERMOPILE SENSORS = RADIAČNÍ PYROMETRY,
<HTTP://AUTOMATIZACE.HW.CZ/MERENI-A-REGULACE/ART189-THERMOPILE-SENSORS--RADIACNI-PYROMETRY.HTML>
- [12] VOJÁČEK, A.: SPRITE NENÍ JEN PITÍ, SPRITE JE I SNÍMAČ,
<HTTP://AUTOMATIZACE.HW.CZ/SPRITE-NENI-JEN-PITI-SPRITE-JE-I-SNIMAC>
- [13] VOJÁČEK, A.: INFRAČERVENÉ KVANTOVÉ DETEKTORY A TERMOKAMERY – ÚVOD,
<HTTP://AUTOMATIZACE.HW.CZ/INFRACERVENE-KVANTOVE-DETEKTORY-TERMOKAMERY-UVOD>
- [14] Zpravodaj pro měření a regulaci č.1, 2.vydání,
<http://www.newport.cz/download/zpravodaje/PDF/infrared.pdf>
- [15] <http://atelier-dek.sk/sluzby/?id=31>
- [16] www.zsr.sk/buxus/generate_page.php?page_id=1225
- [17] http://www.unms.sk/?termovizna_diagnostika
- [18] <http://www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm?Ident=419&Lang=EN>
- [19] http://www.flirthermography.com/media/articles/medical_infrared_thermal.asp
- [20] <http://www.ir55.com/raptor.html>



PRÍLOHY

1. CD s obsahujúce snímky a protokoly o meraní vytvorené pri meraní oteplenia poistky